ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Н. В. ВИНОГРАДОВ

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Н. В. ВИНОГРАДОВ

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ИЗДАНИЕ ДЕВЯТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Одобрено Ученым советом Государственного комитета Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебника для средних профессионально-технических училищ



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1977

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: *Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

Виноградов Н. В.

В 49 Обмотчик электрических машин. Учебник для средн. проф.-техн. училищ. Изд. 9-е, перераб. М., «Высш. школа», 1977.

312 с. с ил. (Профтехобразование. Электрические машины.)

В учебнике приведены конструкции основных элементов обмоток электрических машин, схемы обмоток, технология изготовления и ремонта, а также данные по расчету. Значительное внимание уделено вопросам новой техники, передовой технологии и повышению производительности труда на обмоточных работах в электромашиностроении.

Учебник предназначен для подготовки в профессионально-технических училищах обмотчиков элементов электрических машин с квалификацией 2-го разряда и средним образованием. Учебник может быть использован также для подготовки рабочих на производстве.

$В\,\frac{30307-021}{052(01)-77}\,35-77$ 6П2.1.08

ВВЕДЕНИЕ

Создание материально-технической базы коммунизма — главная экономическая задача партии и всего советского народа. В выполнении этой задачи большую роль играет полная электрификация страны, основанная на непрерывном росте выработки электроэнергии.

Электрическая энергия вырабатывается генераторами на тепловых, гидравлических и атомных электростанциях. Основными потребителями электроэнергии являются электродвигатели промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства. Все электрические машины, вырабатывающие и потребляющие электроэнергию, создаются на заводах электротехнической промышленности. Именно поэтому она играет такую роль в ускорении технического прогресса, механизации и автоматизации производственных процессов.

В дореволюционной России было только четыре электромашиностроительных завода. Эти заводы представляли собой сборочные мастерские, работавшие на заграничных полуфабрикатах и материалах. Научно-техническая база электромашиностроения находилась за границей на основных предприятиях концернов. Свыше 93% электроизмерительных приборов и 57% электрических машин, трансформаторов и аппаратов ввозилось из-за границы.

После Великой Октябрьской социалистической революции электромашиностроительные заводы были реконструированы и превратились в передовые заводы, оснащенные современной техникой. В первой пятилетке начала проводиться специализация заводов, при которой каждый завод выпускал электрические машины одного или нескольких типов. Специализация дала возможность организовать серийное производство машин, обеспечить заводы специализированным оборудованием и создать проектные отделы, явившиеся штабами технической мысли в данной отрасли электромашиностроения.

Электротехническая промышленность занимает ведущее место среди других отраслей машиностроения. Достаточно сказать, что первый Государственный знак качества был присвоен асинхронным двигателям серии А2, выпускаемым заводом имени Владимира Ильича.

Всякая электрическая машина имеет обмотки, являющиеся одной из наиболее важных частей машины. Надежность электрических машин в эксплуатации в основном определяется качеством обмоток, так как в большинстве ремонтируемых машин исправлениям или замене подвергаются обмотки. Для увеличения надежности обмоток применяют изоляционные материалы повышенной нагревостойкости, электрической и механической прочности, выдерживающие высокие температуры нагрева, ударные и вибрационные нагрузки, повышенные напряжения в процессе работы. Благодаря этим и другим мероприяти-

ям электромашиностроительные заводы в 2—3 раза увеличивают гарантийные сроки работы электрических машин. Требования, предъявляемые к обмоткам, повышаются по мере увеличения мощности машины, напряжения и зависят от условий их работы.

Чтобы изготовлять сложные обмотки, применяемые в современных электрических машинах, надо не только уметь выполнять те или иные производственные процессы, но и знать теорию обмоток, их схемы, изоляцию и назначение.

Электрические машины являются относительно молодой отраслью техники. Основные изобретения в области электрических машин принадлежат отечественным ученым. Так, например, академик Б. С. Якоби изобрел электродвигатель постоянного тока. Велика заслуга инженера М. О. Доливо-Добровольского в изобретении асинхронного трехфазного электродвигателя и системы трехфазного тока. Открытие П. Н. Яблочковым трансформатора сыграло большую роль в передаче электрической энергии на большие расстояния.

В современном электромашиностроении крупные разработки осуществляются группами специалистов, так как одному человеку невозможно охватить все вопросы, связанные с разработкой теории, конструкцией, технологией производства, исследованиями и эксплуатацией различных типов машин, особенно при серийном их производстве. Для выявления оптимальных решений при проектировании приходится анализировать многие варианты с помощью электронно-вычислительных машин. В 1975 году была присвоена Государственная премия группе, состоящей из 12 человек, за создание и внедрение в производство серии взрывонепроницаемых асинхронных электродвигателей мощностью от 100 до 2000 кВт для угольной, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности.

Задачи десятой пятилетки пронизаны идеей повышения эффективности и качества всей нашей работы, как важнейшей предпосылки дальнейшего подъема народного благосостояния. Основным источником роста общественного производства по-прежнему является повышение производительности труда, что позволит получить 86% прироста национального дохода и около 80% прироста промышленной продукции.

Рост промышленного производства должен быть в значительной мере достигнут путем экономного использования сырья, более глубокой его переработки и улучшения качества конечной продукции. Дальнейшее развитие получат энергетика и топливная промышленность. Значительно увеличится выработка электроэнергии на атомных и гидростанциях. Применение комбинированного производства тепло- и электроэнергии, совершенствование связей между энергосистемами позволят сократить расход топлива на киловатт-час отпущенной энергии. Начнется выпуск новых высокопроизводительных видов машин, в их числе более эффективные одновальные паровые турбины мощностью 500 и 800 МВт, газовые турбины мощностью 16 МВт для газоперекачивающих станций.

Задания десятой пятилетки опираются на дальнейшее развитие науки и техники. Предусматривается создание новых технических

средств и технологических процессов, механизация и автоматизация производства, улучшение качества продукции.

Развитие электротехнической промышленности требует подготовки квалифицированных рабочих. Основными учебными заведениями по подготовке рабочих являются профессионально-технические училища. Наиболее прогрессивный тип учебных заведений — профессионально-технические училища по подготовке квалифицированных рабочих со средним образованием. Обучение в средних профессионально-технических училищах имеет целью подготовить квалифицированных рабочих, способных трудиться в условиях современного производства, готовых беречь и умножать революционные и трудовые традиции рабочего класса нашей страны, сознательных строителей коммунистического общества.

Настоящий учебник предназначен для профессионально-технических училищ по подготовке квалифицированных обмотчиков со средним образованием. Учебник может быть также использован для индивидуального и бригадного обучения в учебной сети промышленных предприятий рабочих следующих профессий: слесарь по выводам и обмоткам электрических машин, лудильщик-паяльщик обмоток электрических машин, изолировщик, намотчик катушек и секций электрических машин, обмотчик статоров, обмотчик по соединению секций статоров, обмотчик роторов и якорей, бандажировщик, заготовщик изоляции, пропитчик, лакировщик, растяжчик и прессовщик катушек электрических машин.

ГЛАВА I. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

§ 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБМОТОК

Обмотки электрических машин состоят из катушек или стержней. Катушкой называется комплект проводов, которому придана соответствующая форма для укладки в пазы сердечника. Катушки разделяют на мягкие, намотанные из круглого провода, и жесткие — из прямоугольного провода.

С точки зрения технологии изготовления, основными факторами для классификации обмоток являются число витков и сечение провода. Технология изготовления одновитковых и многовитковых обмоток совершенно различна и по производственным операциям и по оборудованию.

Способы укладки обмоток в пазы зависят от формы паза. Пазы электрических машин имеют одну из следующих форм (рис. 1):

закрытый паз, в который стержень вставляют с торца сердечника (рис. 1, *а*) Такие пазы применяют как в фазных, так и в короткозамкнутых роторах асинхронных двигателей. В современных машинах закрытые пазы имеют прорези для уменьшения пазового рассеяния, однако, поскольку эти прорези не могут быть использованы для вкладывания проводов, пазы называются закрытыми;

полузакрытый паз, в который провода круглого сечения вкладывают по одному через узкую прорезь паза (рис. 1, *б*). Такие пазы применяют в статорах машин переменного тока мощностью до 100 кВт и напряжением до 660 В, а также в роторах и якорях машин мощностью до 15 кВт;

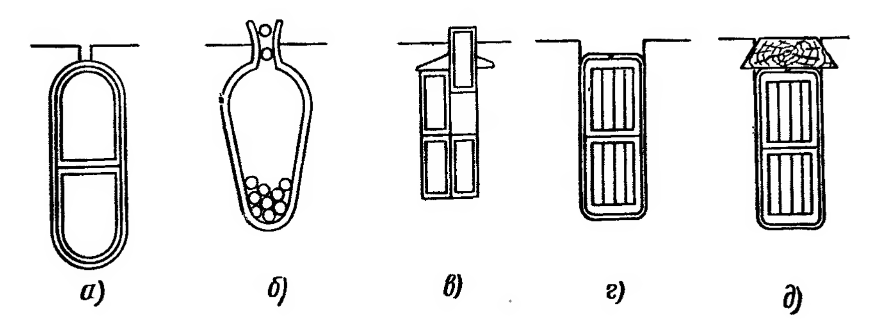


Рис. 1. Формы пазов:

а — закрытый, *б* — полузакрытый, *в* — полуоткрытый, *г* — открытый с бандажом, *д* — открытый с клином

полуоткрытый паз, в который вкладывают жесткие катушки, разделенные в каждом слое на две (рис. 1, *в*). Такие пазы применяют в статорах машин переменного тока мощностью 100—400 кВт, напряжением не выше 660 В;

открытый паз с креплением обмотки проволочным бандажом или из стеклоленты (рис. 1, *г*). Такие пазы делают в якорях машин постоянного тока мощностью до 200 кВт;

открытый паз с креплением обмотки клином (рис. 1, *д*). Эти пазы являются самыми распространенными и применяются в якорях машин постоянного тока мощностью выше 200 кВт, роторах асинхронных машин мощностью 15—100 кВт, статорах асинхронных машин мощностью выше 400 кВт и крупных синхронных машин, включая турбо- и гидрогенераторы, а также в роторах турбогенераторов, где пазы фрезеруют в массивном сердечнике.

Обмотки, в которых сторона катушки занимает весь паз, называются *однослойными*, а обмотки, лежащие в пазах в два слоя,— *двухслойными*. Обмотки роторов асинхронных двигателей разделяются на фазные, состоящие из изолированных катушек или стержней, и короткозамкнутые, получаемые путем забивки в пазы голых медных стержней или путем заливки пазов ротора алюминием. Обмотки, в которых охлаждающая жидкость протекает через полые провода, называются *обмотками с непосредственным охлаждением*.

Обмотки, не имеющие катушек, а наматываемые проводом непосредственно в пазы сердечника, называются ручными, хотя в последнее время они наматываются на специальных полуавтоматических станках. Обмотки, надеваемые на сердечники полюсов машин постоянного тока или синхронных машин называются *полюсными катушками*. В машинах постоянного тока они разделяются на катушки главных и добавочных полюсов. Обмотки, вкладываемые в пазы полюсных сердечников машин постоянного тока, называются *компенсационными*, а в синхронных машинах — *демпферными или успокоительными*.

§ 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Срок службы электрической машины при нормальных условиях эксплуатации определяется главным образом качеством ее изоляции. Решающее влияние на срок службы изоляционных материалов имеет температурный режим, так как при нагреве в изоляции происходят необратимые физико-химические процессы, приводящие к ее старению, т. е. утрате механической прочности и изолирующих свойств. Поэтому в основу классификации изоляции электрических машин положена нагревостойкость — способность сохранять свои характеристики на определенном уровне при установленной для данного класса изоляции температуре.

Согласно ГОСТ 8865—70 все электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах и аппаратах, разделяются по их нагревостойкости на классы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Классы нагревостойкости электроизоляционных материалов по ГОСТ 8865—70

Класс нагревостойкости	Температура, характеризующая нагревостойкость материалов данного класса, °С	Характеристики основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
У	90	Не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный лак волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и их простые сочетания
А	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный лак волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального, искусственного либо синтетического шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы или их простые сочетания
Е	120	Синтетические органические материалы (волокна, смолы, компаунды, пленки), а также соответствующие данному классу материалы и другие их сочетания, которые могут работать при температуре, соответствующей данному классу
В	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые их сочетания
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие сочетания материалов
Н	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые их сочетания
С	Более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц и их комбинации, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые их сочетания

Примечания. 1. Указанные в таблице температуры являются предельно допустимыми для электроизоляционных материалов при их длительном использовании в электрических машинах и аппаратах, работающих в нормальных эксплуатационных условиях.

2. Температура в наиболее нагретом месте изоляции не должна превышать предельно допустимых величин при работе электрооборудования в нормальном режиме.

3. Вместе с электроизоляционными материалами данного класса допускается применять материалы предшествующих классов при условии, что под действием температуры, допустимой для материалов более высокого класса, электрические и механические свойства комплексной изоляции не претерпевают изменений, приводящих к непригодности изоляции для длительной работы.

При выборе изоляционных материалов для отдельных видов изоляции следует иметь в виду некоторые дополнительные требования, зависящие от условий эксплуатации электрических машин. Это — требования в отношении влагостойкости, тропикостойксти, химостойкости, морозостойкости, короностойкости и др.

Под *влагостойкостью* понимают способность изоляции сохранять свои свойства при нахождении в атмосфере, близкой к состоянию насыщения водяным паром (около 98% относительной влажности воздуха при 20°С). Пропитанные целлюлозные материалы (класс А) не могут считаться достаточно влагостойкими. Поэтому указанные материалы без сочетания с более нагревостойкими и влагостойкими можно применять только в машинах с изоляцией класса А невлагостойкого исполнения.

Тропикостойкость изоляции для машин, работающих в условиях тропического климата, в основном обеспечивается высокой влагостойкостью при повышенной температуре окружающей среды. На изоляционных материалах в тропических условиях могут развиваться плесневые грибки, создающие проводимость поверхностных слоев изоляции и разрушающие ее. Применять целлюлозу для тропических условий недопустимо. Здесь необходимы другие материалы (например, на основе стекла) и специальные пропиточные и покровные лаки.

Химостойкость необходима для машин, работающих в химически активных средах. Химостойкость изоляции заключается в способности надежно сохранять свои свойства при доступе к ней химически активных сред, например паров кислот и щелочей. Здесь также требуются специальные пропиточные и покровные лаки.

Морозостойкостью называется способность изоляции выдерживать действие низкой температуры.

Короностойкостью называется способность изоляционных материалов работать в электрических полях с высокой напряженностью. Наряду с выбором короностойких изоляционных материалов необходимо принимать специальные меры для уменьшения коронирования обмоток при рабочих напряжениях выше 6,3 кВ.

§ 3. МЕЖДУВИТКОВАЯ И КОРПУСНАЯ ИЗОЛЯЦИИ

Все провода обмотки должны быть изолированы друг от друга и от корпуса машины. В низковольтных электрических машинах роль **междувитковой изоляции** играет изоляция самого провода. В обмотках из голых проводов, а также в высоковольтных машинах для создания или усиления междувитковой изоляции каждый провод обматывают изоляционными материалами.

Конструкция **корпусной изоляции** зависит от формы паза и напряжения обмотки. Для всыпных обмоток (см. рис. 1, *б*) корпусная изоляция состоит из нескольких слоев изоляционных материалов, образующих пазовую гильзу.

В стержневых обмотках ротора, вкладываемых в паз с торца сердечника (см. рис. 1, *а*), пазовую часть стержня обертывают несколь-

кими слоями изоляционного материала. Ширина полосы материала равна длине изолируемой части стержня, а длина полосы — периметру сечения стержня, умноженному на число слоев изоляции. Такая изоляция называется *гильзовой*.

В статорных и якорных обмотках для образования корпусной изоляции оплетают катушки или стержни по всей длине несколькими слоями изоляционной ленты. Такая изоляция называется *непрерывной* (см. рис. 1, *в*, *г*, *д*). Для защиты корпусной изоляции в пазы вкладывают гильзы из одного слоя электрокартона в форме коробочки, верхний конец которой после укладки обмотки загибают внутрь паза.

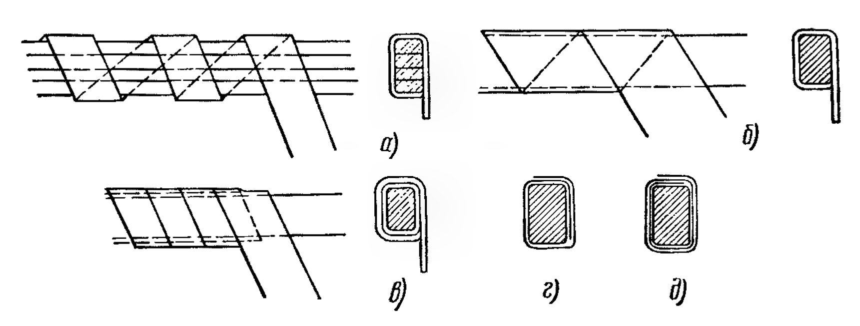


Рис. 2. Способы изолировки:

а — вразбежку, *б* — встык, *в* — внахлестку, *г* — перекрытие по двум сторонам сечения, *д* — перекрытие по одной стороне сечения

Обматывание лентой можно выполнить с разной степенью перекрытия ее слоев, зависящей от угла наклона ленты по отношению к изолируемому участку. Число слоев ленты определяется нормалями и зависит от напряжения машины и условий ее работы.

Обматывание лентой *вразбежку* (рис. 2, *а*) не создает изоляционного слоя, поэтому применяется только для стягивания витков катушки или удерживания ранее намотанных слоев изоляции. Обматывание лентой *встык* (рис. 2, *б*) также не создает непрерывного слоя изоляции, так как в местах стыков могут быть оголенные участки катушки. Поэтому изолировку лентой встык используют для защиты лежащих под ней слоев изоляции.

При обматывании лентой *внахлестку* (рис. 2, *в*) создается основная изоляция стержня или катушки. Обматывание лентой внахлестку производят, перекрывая предыдущий виток ленты на $^1/_3$, $^1/_2$ или $^2/_3$ ее ширины. Чаще всего применяют перекрытие на $^1/_2$ ширины ленты. При этом действительная толщина изоляции получается вдвое больше расчетной. Например, если по расчету на пробой необходимо два слоя ленты, то обходят контур катушки при изолировке два раза внахлестку и с каждой стороны катушки получаются четыре слоя ленты.

Когда обертывают полосой изоляционного материала, ширина которой равна длине изолируемого участка, то общая толщина изоляции получается меньше, чем при изолировке лентой. Например, если по расчету достаточно одного слоя изоляции, то делают перекрытие

по двум сторонам сечения (рис. 2, *г*), чтобы закрепить начало полосы. При большем числе слоев можно ограничиться перекрытием по одной стороне сечения, которое не сказывается на ширине паза (рис. 2, *д*).

Обертывание широкой полосой изоляционного материала значительно производительнее, чем лентой, особенно при механизированной заготовке изоляции. Но изолировать широкой полосой можно только прямолинейные участки, поэтому изолировка лентой лобовых частей обмоток сохраняется во всех электрических машинах.

Кроме междувитковой и корпусной изоляции катушек, в обмотках применяют целый ряд дополнительных изоляционных прокладок. К ним относятся прокладки на дно паза, между слоями обмоток, изоляция под проволочные бандажи, между слоями лобовых частей, изоляция обмоткодержателей. Эти прокладки, для машин с изоляцией класса А выполняют из электрокартона, лакоткани и изоляционных пленок, а для машин с изоляцией классов В, F, Н — из стеклолакоткани, микафолия, гибкого миканита, слюдинитофолия и др.

При выполнении обмоточных работ приходится не только наносить изоляцию на провода, но и снимать ее в местах соединений. При использовании проводов, с высокопрочной эмалевой изоляцией это довольно трудно. Обычно для этой цели служат специальные станки, в которые вставляют концы проводов. Изоляция снимается с них вращающимися проволочными щетками. Для удаления пыли станки оборудованы вытяжной вентиляцией.

§ 4. РЕЗКА ЗАГОТОВОК ИЗ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Заготовка изоляционных деталей обычно производится на заготовительных участках, откуда эти детали в скомплектованном виде поступают в цех укладки обмоток в пазы. Наличие заготовительного участка способствует лучшему использованию оборудования, более экономному раскрою листовых изоляционных материалов и более точному учету расхода материалов на единицу изделия. В обмоточных цехах освобождение обмотчиков от вспомогательных операций значительно повышает производительность труда на основных операциях.

Раскрой изоляционных материалов на специальных участках обеспечивает: высокую производительность труда в результате того, что прокладки нарезают в больших количествах и по определенной технологии; точность размеров, особенно для пазовых прокладок, размеры которых ограничены шириной паза; чистоту кромок, отсутствие заусенцев и вмятин.

При мелкосерийном производстве используют ручные рычажные ножницы. Их механизируют, пристраивая кривошипную передачу рычага от электродвигателя.

Для резки изоляционных материалов применяют гильотинный штамп (рис. 3), установленный на 25-тонном эксцентриковом прессе. В процессе резки материал планкой *2*, прикрепленной к верхней плите *3*, прижимается к столу *1*. Материал подается до упора *4*. Положение его регулируется в зависимости от требуемой ширины полосы, которая

может достигать 700 мм. Угол наклона ножей 2°. Конструкция штампа предусматривает быструю замену ножей. Штамп удобен в работе, прост в наладке и обеспечивает хорошее качество резания.

При массовом производстве для резки прокладок пазовой изоляции из электрокартона, миканита или электронита используют ножницы с механическим приводом и автоматической подачей полосы изоля-

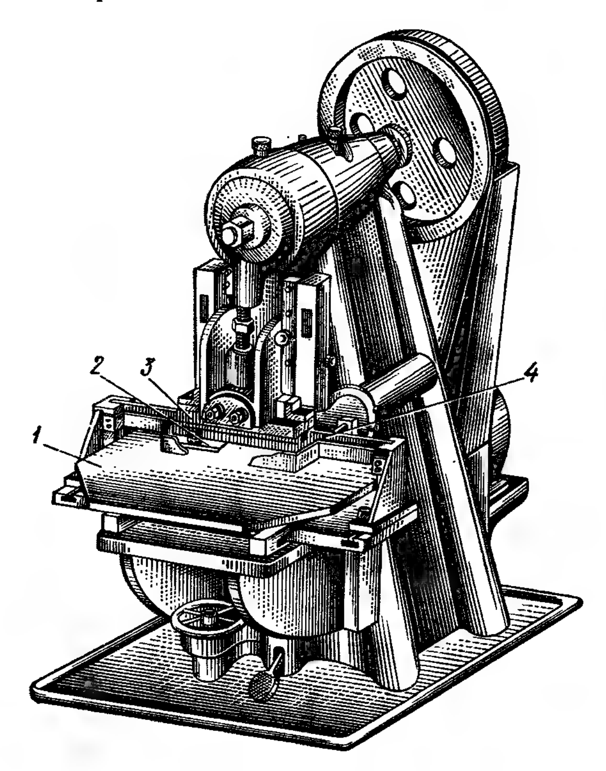


Рис. 3. Гильотинный штамп на эксцентриковом прессе

ционного материала (рис. 4). Электродвигатель мощностью 1 кВт через клиноременную передачу вращает шкив-звездочку *1*, которая велосипедной цепью *8* соединена с другой звездочкой *9*, насаженной на конец вала *16*. На концах вала установлены кривошипы, сообщающие через шатуны *7* и тяги *5* возвратно-поступательные движения подвижному ножу *4*, который передвигается в направляющих *15*. Полосу режут подвижный нож и неподвижный *14*, привинченный к станине *3* ножниц.

Валики *12* и *13* автоматически подают полосу изоляционного материала. Прерывистые вращательные движения валику *13* сообщаются от вала *16* через зубчатую передачу, тягу *10* и серьгу *11* в момент, когда подвижный нож находится в верхнем положении. Для увеличения сцепления с полосой валик *13* покрыт резиной. Заготовку изоляцион-

ного материала кладут на стол *2*, а нарезанные полоски падают в лоток. Во избежание несчастных случаев все зубчатые передачи закрыты щитками *6*.

Эти ножницы имеют высокую производительность, делая 147 двойных ходов в минуту, просты в изготовлении и наладке при работе. Внедрение их снизило трудоемкость резки изоляции на 50%.

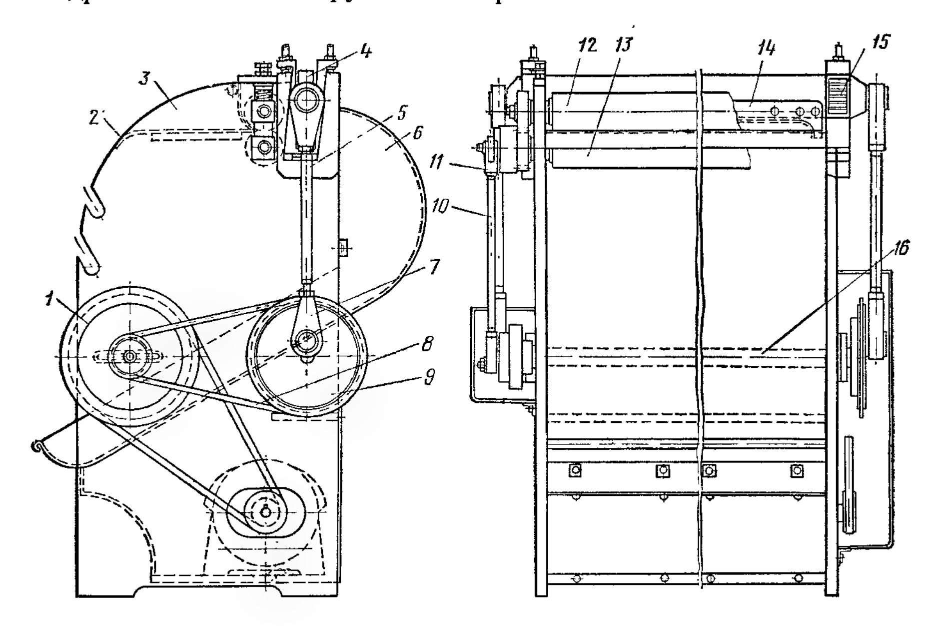


Рис. 4. Ножницы для резки изоляционных материалов

Во многих электрических машинах применяют в небольших количествах круглые детали из листового материала. Такими деталями являются изоляционные торцовые листы сердечников якоря и ротора, стальные крайние листы разных диаметров, образующие ступенчатые зубцы по торцам ротора, изоляционные прокладки между пакетами сердечника ротора. Делать для них штампы нецелесообразно из-за малого количества деталей и большого их разнообразия.

Круглые детали вырезают как из электрокартона, так и из электротехнической стали на круговых ножницах. Заготовка зажимается в центре, а режущими инструментами являются два ролика. При ручных механизмах зажима заготовки и подвода приводного ролика круговые ножницы малопроизводительны.

На рис. 5 показаны круговые ножницы с пневматическим управлением. Заготовка зажимается пневматической диафрагменной камерой (узел *I*) со штоком *2*, на конце которого закреплен прижимной центр *1*. Шток возвращается в исходное положение пружиной *3*. Подвижной нож подводится и отводится с помощью второй диафрагменной камеры (узел *II*). Давление от диафрагмы верхней части через вспомогательный

грибовидный шток 4 с диском 5, диск 6 и диафрагму нижней части передается на шток 8 с регулировочным каленым упором 9 на конце.

При заполнении камеры сжатым воздухом шток 8 перемещается и передает усилие на шпиндель подвижного ножа, который опускается и режет материал. Когда воздух удаляется из камеры, шток 8 поднимается и нож со шпинделем под действием пружины 7 возвращается

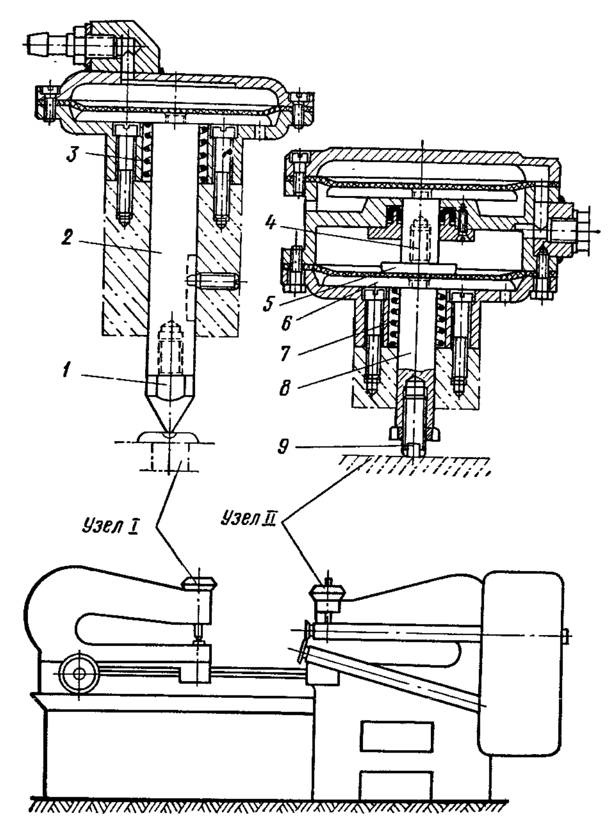


Рис. 5. Круговые ножницы с пневматическим управлением

в исходное положение. Управление ножницами производится одним трехпозиционным краном. Ножницы рассчитаны на резку кружков диаметром до 900 мм. Использование пневматики на круговых ножницах резко сокращает вспомогательное время и облегчает условия труда.

Во всяком производстве имеются детали, применяемые в малых количествах (одна-две на машину), для которых нерационально делать специальную технологическую оснастку. Такие детали вырезают на вибрационных ножницах (рис. 6). Электродвигатель жесткой муфтой соединен с головкой 7 шатуна 6, являющейся эксцентриком. Вторая

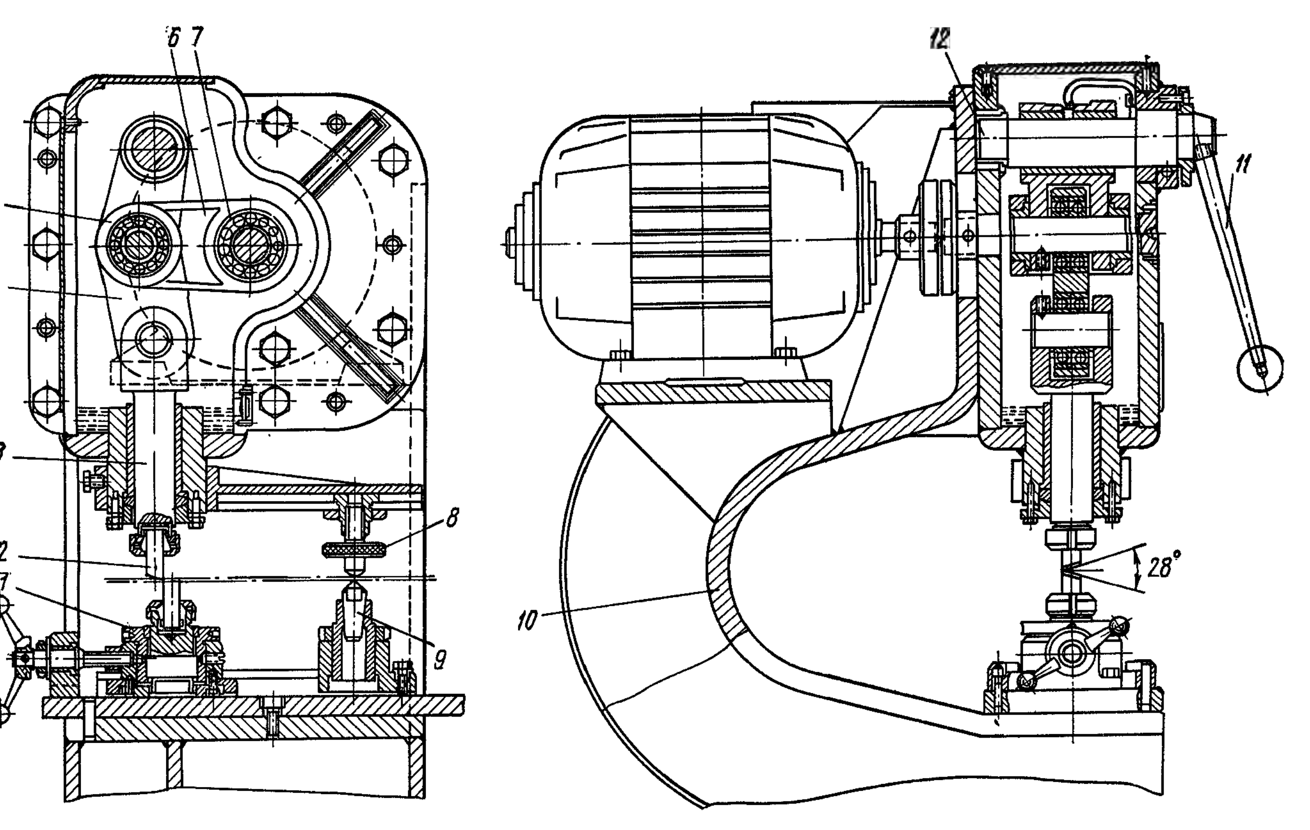


Рис. 6. Вибрационные ножницы

головка *5* шатуна шарнирно соединена с системой ломающихся рычагов *4*, передающих колебания на шток *3*. На конце его в цанге закреплен резец *2*. Весь вибрирующий механизм помещен в корсбку, в которую подается смазка шестеренчатым насосом. Шток с резцом совершает 1410 двойных ходов в минуту.

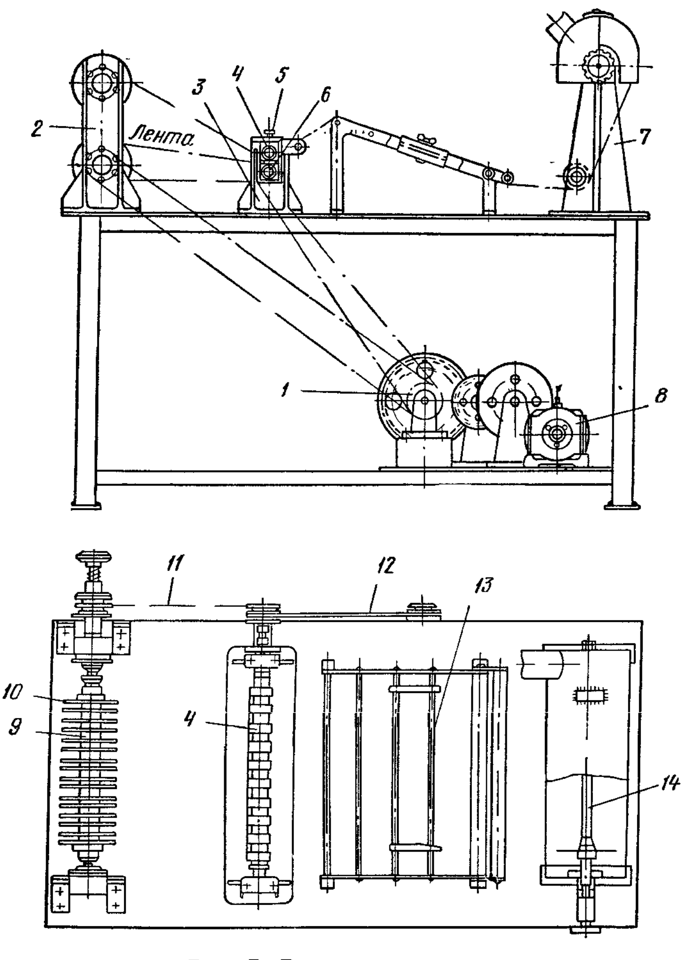


Рис. 7. Роликовые ножницы

На нижней части станины *10* установлен нижний резцедержатель *1* с закрепленным в нем резцом. При помощи маховичка можно регулировать зазор между резцами в зависимости от толщины вырезаемого материала. Угол раствора резцов 28°, а угол заточки 14°, что обеспечивает втягивание материала в зону резания. Для вырезки круглых деталей заготовку устанавливают на центр *9* и поджимают винтом *8*. Одновременно заменяют ножи, что не занимает много времени.

Если нужно прорезать отверстия, то при помощи рукоятки *11* поворачивают валик *12*, имеющий эксцентриковые шейки. Резец *2* поднимается и среднюю часть заготовки вводят в зону резания. После этого при включенном двигателе постепенно опускают резец *2*. Валик *12* фиксируется в верхнем и нижнем положениях. При помощи вибрационных ножниц можно вырезать детали как из металлов, так и из изоляционных материалов.

Такие изоляционные материалы, как микалента, стеклолента, лакоткань, поступают в виде рулонов и разрезаются на ленты требуемой ширины на роликовых ножницах (рис. 7). Режущие валки *4* и *6* состоят из дисковых ножей, которые набраны с промежуточными втулками на валики. Ширина ножей равна ширине разрезаемых лент.

Валки вращаются в подшипниках стойки *3* и сжимаются болтом *5*. Нижний валок приводится во вращение от электродвигателя *8* через шестеренчатый редуктор *1* клиновым ремнем *12*. Разрезаемый рулон изоляционного материала надевают на свободно вращающуюся оправку *14*, опирающуюся на подшипники стойки *7*.

Полоса разрезаемого материала через направляющий ролик и решетку *13* подается к режущим валкам. Разрезанные ленты наматываются на приемные валки стойки *2*, состоящие из текстолитовых втулок *9* и перегородок *10*. Когда приемные валки заполняются лентой, их снимают и ставят новые. Разбирают приемные валки вне станка. Вращение нижнему приемному валку сообщается от редуктора через роликовую цепь *11*. Между собой приемные валки также соединены роликовой цепью. Для удаления выделяемой при резании пыли станок снабжен отсасывающей вентиляцией. Роликовые ножницы обладают высокой производительностью и работать на них легко.

Для лучшего облегания обмоток лента из лакоткани должна быть нарезана так, чтобы основа ткани была расположена под углом к кромке ленты. Поэтому обычно кусок лакоткани разрезали на ленты в диагональном направлении, что препятствовало внедрению механизации и создавало большие отходы в углах куска. В настоящее время вырабатывают лакоткани, у которых основа расположена под углом к кромке куска, что позволяет механизировать резание и исключить отходы материала.

§ 5. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА И РЕЗКА ЗАГОТОВОК

Обмоточные провода. К проводниковым материалам, применяемым для электрических машин, относится прежде всего медь — сравнительно недорогой металл, имеющий малое удельное сопротивление. Большое влияние на сопротивление меди оказывают различные примеси. Поэтому для проводников применяется возможно более чистая электролитическая медь. Она не должна содержать более 0,1% примесей. Особенно вредны примеси сурьмы и висмута.

При холодной прокатке медь подвергается наклепу, что делает ее более твердой и увеличивает ее удельное сопротивление. Отжиг восстанавливает основные свойства меди и его следует применять не толь-

ко на кабельных, но и на электромашиностроительных заводах, если неизолированные медные проводники в процессе изготовления обмотки подвергались наклепу.

Наряду с медью для проводников применяют также алюминий и некоторые сплавы (латунь, бронза). Алюминий используют главным образом для беличьих клеток короткозамкнутых асинхронных двигателей, латунь и бронзу — для пусковых клеток асинхронных и синхронных двигателей.

Для обмоток электрических машин используют обмоточные провода с волокнистой, эмалевой, комбинированной изоляцией и голые провода круглого, прямоугольного и фасонного сечений. Для специальных машин, например высокочастотных, изготовляют провода, скрученные из тонких проволок и опрессованные в форме прямоугольного или другой формы сечения. Обмоточные провода изготовляют на кабельных заводах только со стандартными размерами.

Провода круглого сечения применяют главным образом в машинах с полузакрытыми пазами и всыпными обмотками. В целях упрощения укладки в пазы обычно не используют провода диаметром более 2,1 мм. Если по расчету требуется провод большего диаметра, его заменяют двумя параллельными проводами меньшего диаметра. Провода прямоугольных сечений применяют при полуоткрытой и открытой формах пазов.

Голые провода идут только для изготовления обмоток крупных электрических машин, в которых их изолируют лентами после придания соответствующей формы стержням обмотки. В машинах меньшей мощности используют обмоточные провода с изоляцией.

В современном электромашиностроении применяются различные марки обмоточных проводов, число которых непрерывно растет. Это объясняется повышением требований, предъявляемых к обмоткам электрических машин, и разработкой новых изоляционных материалов, заменяющих дорогие и дефицитные изоляционные материалы, такие, например, как натуральный шелк.

Провода с волокнистой изоляцией все в большей степени заменяются проводами с эмалевой изоляцией (круглые и прямоугольные), что резко повышает заполнение паза проводами. Это объясняется тем, что толщина эмалевой изоляции в два-три раза меньше толщины волокнистой изоляции. При этом повышается теплопроводность изоляции, что позволяет несколько увеличить плотность тока в обмотке. Кроме того, скользкая, гладкая поверхность эмалированных проводов облегчает укладку их в пазы. В новых сериях электрических машин общепромышленного применения провода с эмалевой изоляцией используют при мощностях до 200—250 кВт и напряжении до 660 В для статорных обмоток машин переменного тока и полюсных катушек машин постоянного тока.

Исследовательские работы по изысканию новых изоляционных покрытий проводов, особенно эмалированных, непрерывно продолжаются; появились более надежные изолированные провода с лучшими свойствами. Эмалированные провода для вращающихся обмоток применяют в сочетании с надежными пропиточными составами. Это объяс-

няется тем, что эмалевая изоляция обладает свойством термопластичности, заключающимся в размягчении эмалевой пленки при повышенной температуре порядка 170° С.

В обозначении марок обмоточных проводов входят начальные буквы названий материалов, составляющих изоляцию провода. Кроме того, в обозначения марок могут входить буквы, показывающие число слоев изоляции, и цифры. Например, буква О обозначает один слой обмотки провода, буква Д — два слоя. В обмотках с эмалевой изоляцией буква У обозначает утолщенную изоляцию, цифра 1 — нормальную (однослойную) эмалевую, цифра 2 — усиленную (двухслойную).

В электрических машинах первых выпусков обмотки изготовляли из провода марки ПБД, изолированного двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи. Эта изоляция относится к классу А, который характеризуется низкой нагревостойкостью, что приводило к увеличению размеров машины. Поэтому в современных электрических машинах провода ПБД не применяются и заменены проводами ПСД, изолированными двумя слоями обмотки из стекловолокна.

Медные провода с эмалевой изоляцией изготовляют следующих марок:

ПЭЛ — провод, изолированный эмалью на масляно-смоляной основе;

ПЭВ-1 — провод, изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацеталевой основе; ПЭВ-2 — то же, с утолщенной изоляцией;

ПЭМ-1 — провод, изолированный эмалью металвин; ПЭМ-2 — то же, с утолщенной изоляцией;

ПЭЛР-1 — провод, изолированный высокопрочной эмалью на полиамидной основе; ПЭЛР-2 — то же, с утолщенной изоляцией;

ПЭТВ — провод, изолированный нагревостойкой эмалью на основе полиэфиров терефталевой кислоты;

ПЭВТЛ-1 — провод, изолированный нагревостойкой высокопрочной полиуретановой эмалью; ПЭВТЛ-2 — то же, с утолщенной изоляцией;

ПЭТ-155А — провод, изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на полиэфироимидной основе;

ПЭТ-155Б — провод, изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на полиэфирциануратной основе.

Изготовляются эмалированные провода и других марок.

Провода с эмалеволокнистой изоляцией все в большей степени заменяются проводами с высокопрочной эмалевой изоляцией.

Наряду с медными обмоточными проводами выпускают алюминиевые обмоточные провода. Алюминий представляет собой мощный резерв проводниковых материалов. Без значительного роста применения алюминиевых проводов нельзя поднять производство электрических машин до уровня, обеспечивающего темпы сплошной электрификации страны. В обозначения марок алюминиевых проводов добавляют букву А, обычно в конце. Например, ПЭВА — алюминиевый провод, изолированный высокопрочным эмальлаком (винифлекс); ПЭТА — алюминиевый провод, изолированный нагревостойким полиамидным лаком.

Резка заготовок. При намотке многовитковых катушек требуемая длина провода определяется самим процессом намотки, а для одновитковых и стержневых обмоток заготовка должна быть отрезана от бухты до начала процесса гибки. Длина заготовки должна быть точно определена, так как при излишней длине много меди пойдет в отходы, а при недостаточной длине отрезанный кусок провода не может быть использован для данной обмотки. Резка заготовок для стержневых обмоток обычно объединяется с правкой шины, сматываемой с бухты. Ввиду того, что резка и правка шин носит в электромашиностроении массовый характер, для этой цели применяется специальное оборудование.

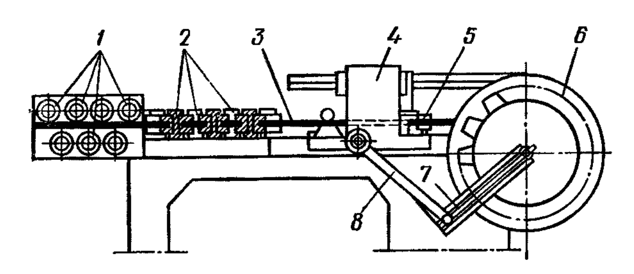


Рис. 8. Станок для правки и резки шин

На рис. 8 показано устройство станка для правки и резки медных шин. В левой части станка расположены две группы роликов. Одни из них *2* расположены вертикально и служат для правки шин *3* на ребро, другие *1* — горизонтально и правят шину на плоскость. Расстояние между роликами каждой группы может регулироваться и устанавливаться в зависимости от размеров сечения шины.

В средней части станка виден ползун *4* с зажимом *5* для захвата конца шины. Ход ползуна устанавливают в зависимости от длины заготовки. В правой части станка расположен нож, режущий шину после того, как ползун протянул требуемую длину заготовки. Ползун приводится в движение, и ход его регулируется кривошипным механизмом *7* и *8*. Если необходимая длина заготовки больше хода ползуна, то станок настраивают так, чтобы нож включался после нескольких оборотов колеса *6*. Зажим на ползуне захватывает конец шины только при рабочем ходе. При обратном ходе губки зажима расходятся и свободно скользят вдоль шины. Шина вводится в станок с левой стороны и проходит сначала между горизонтальными, а затем между вертикальными роликами. Отрезанные заготовки выходят с правой стороны станка.

По сравнению с ручной резкой и правкой шин такой станок значительно увеличивает производительность труда и обеспечивает одинаковую длину нарезаемых заготовок.

После намотки многовитковых катушек на шаблоны или отмеривания заготовки для гибки провод или шина отрезается от бухты. На рис. 9 показано устройство пневматических кусачек с параллель-

ными перемещающимися ножами. Такие ножницы подвешивают у намоточных станков для намотки шинных катушек полюсов. Кусачки состоят из стального пневматического цилиндра *9*, ограниченного с одной стороны силуминовой крышкой *12*, а с другой — стальной сварной вилкой *7*, которые плотно стянуты винтами *10*. Для уплотнения цилиндра с обеих сторон предусмотрены прокладки *11* из электрокартона.

Поршень, скрепленный с валом *6*, снабжен прорезиненной манжетой *8*, вырезанной из клиновидного ремня. На хвостовую часть вала

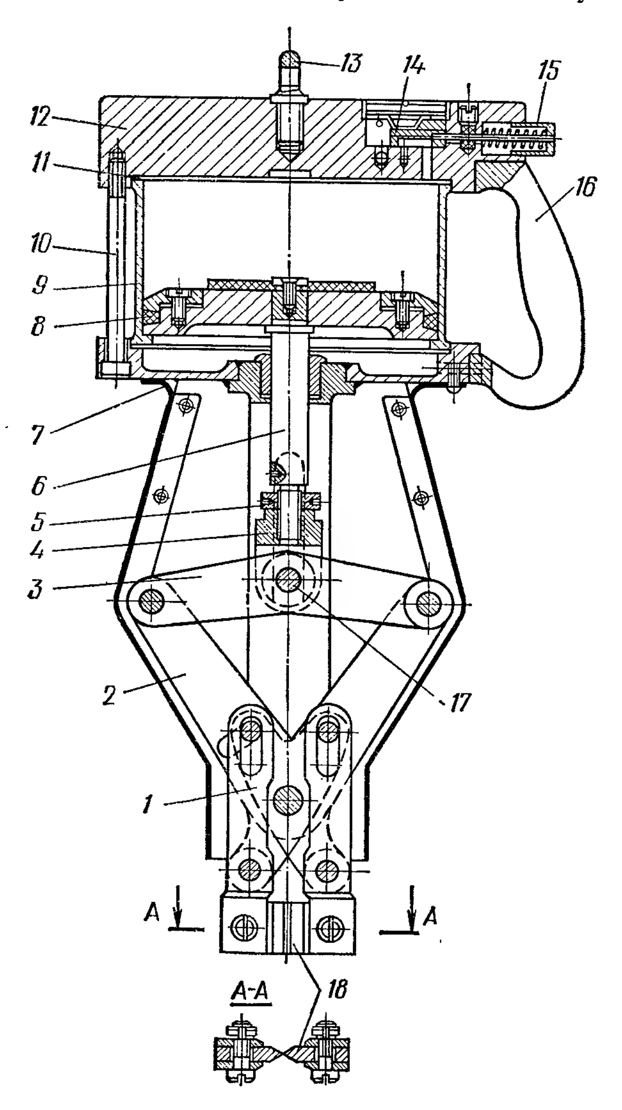


Рис. 9. Пневматические кусачки для резки шин

навернуты на резьбе втулка *4* и гайка *5*. На рычаги *2*, шарнирно соединенные с серьгой поршня через рычаги *3* осью *17*, крепятся рычаги *1*. К рычагам *1* крепятся сменные ножи *18*. Положение режущих кромок регулируется за счет овального отверстия и рифлений. Более точная регулировка зазора между ножами осуществляется серьгой *4* и гайкой *5*. Для резки шин пневматические кусачки подвешивают над намоточным станком с помощью подъемного кольца *13*. Для подвода кусачек к рабочему месту служит алюминиевая ручка *16*. В крышку *12* встроена золотниковая система с воздухопроводящими каналами. При нажиме пальцев на кнопку *15* золотник *14* перемещается, и в цилиндр со стороны крышки подается сжатый воздух. При этом происходит резка шины. При давлении воздуха в сети 4 кгс/см^2 кусачки развивают усилие 5000 кгс*. Для безопасности работы предусмотрен щиток, предохраняющий пальцы от попадания между рычагами.

Контрольные вопросы

1. Какие формы пазов вы знаете?
2. Какие бывают виды обмоток?
3. Какие существуют классы нагревостойкости изоляции?
4. Как нагреваются виды изоляции обмоток по назначению?
5. Что представляет собой междувитковая изоляция?
6. Из чего состоит корпусная изоляция?
7. Какие существуют способы оплетения катушек изоляционными лентами?
8. Чем отличается гильзовая изоляция от непрерывной?
9. На чем основан принцип устройства круговых ножниц?
10. Для каких деталей применяют вибрационные ножницы?
11. Какой принцип положен в основу устройстиа станков для правки и резки шин?

---

* В системе СИ сила измеряется в ньютонах (Н). 1 кгс ≈ 9,8 Н.

ГЛАВА II. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТУШЕЧНЫХ ОБМОТОК

§ 6. КАТУШКИ СТАТОРА ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

В старых типах асинхронных двигателей всыпные обмотки использовали только для машин мощностью до 10 кВт. В единых сериях асинхронных двигателей А; АО; А2 и АО2 всыпные обмотки статора применили для машин мощностью до 100 кВт. В связи с этим освоена намотка катушек с числом параллельных проводов до 12. Такие катушки наматывают сразу пучком проводов с нескольких барабанов.

В статорных обмотках часть катушек, лежащих в соседних пазах, соединяют между собой последовательно. Эти катушки образуют катушечную группу. При намотке катушек обычно катушечную группу наматывают, не обрывая провода. Благодаря этому после укладки в пазы не нужно соединять катушки одной катушечной группы между собой, что упрощает монтаж схемы обмотки и исключает возможность перепутывания выводных концов катушек. Для намотки катушечной группы намоточный шаблон должен иметь несколько желобков, в которых размещаются витки катушки.

В машинах малой мощности стремятся к дальнейшему упрощению соединений на статоре, наматывая всю фазу, состоящую из нескольких катушечных групп, одним непрерывным проводом. После укладки в пазы такая обмотка будет иметь только шесть выводных проводов, представляющих собой начала и концы трех фаз. Следовательно, совершенно исключается процесс соединения катушечных групп.

Намоточные шаблоны для всыпных обмоток выполняют из твердых пород дерева или алюминия. При конструировании шаблонов обращают особое внимание на то, чтобы отпирание шаблона и съем намотанной катушки производились с минимальными затратами труда и времени.

На рис. 10 показана конструкция деревянного намоточного шаблона для катушечной группы всыпной обмотки с числом катушек в группе до четырех. По плите *1* с пазом трапецеидального сечения могут передвигаться колодки *2* с хвостовиками соответствующей формы. В середине шаблона закреплен штырь *4*, на который надет раздвижной клин *5*, запирающийся клиновой задвижкой *3*.

На рисунке показано рабочее положение шаблона. После намотки катушечной группы задвижку выбивают, клин вынимают, колодки сдвигают к центру и намотанные катушки легко снимают с шаблона.

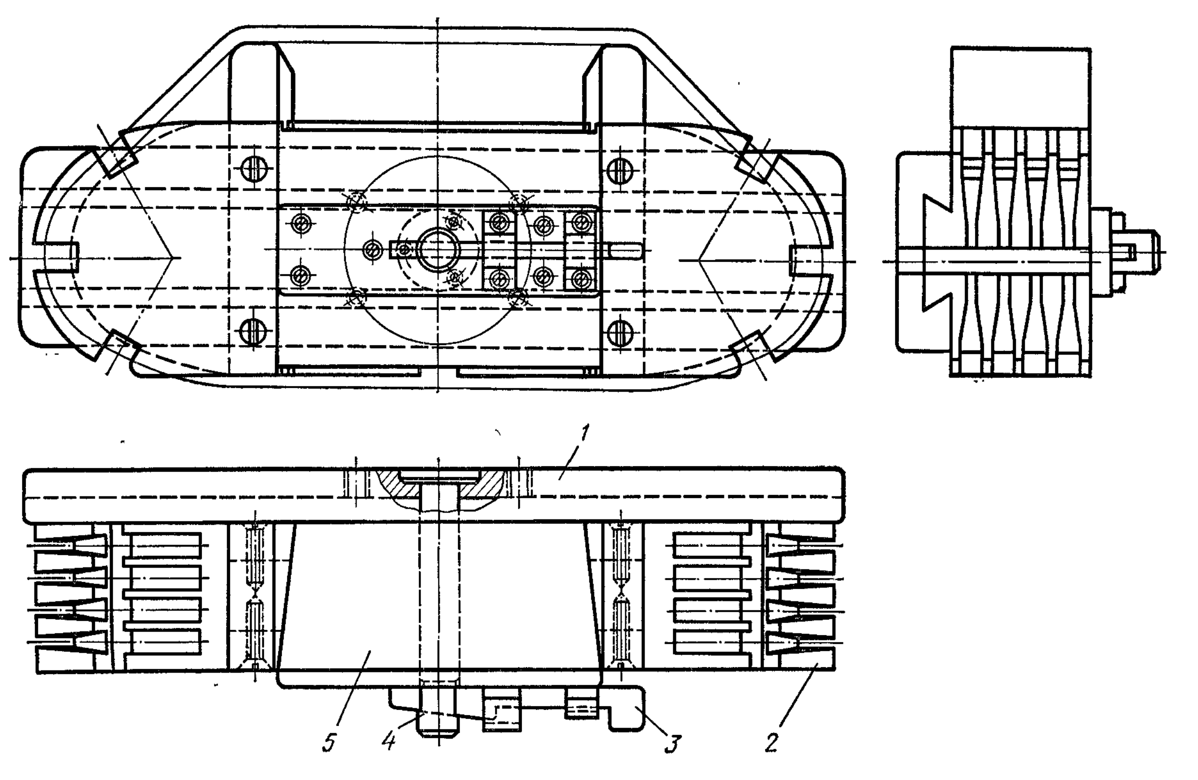


Рис. 10. Деревянный намоточный шаблон для всыпной обмотки

Заменяя клин, можно наматывать на этом же шаблоне катушки разной длины.

Раньше намоточный шаблон крепили к шпинделю намоточного станка планками и болтами. При замене шаблона много времени затрачивали на снятие, установку и выверку его на станке. Теперь к шаблону привертывают втулку с резьбой, которую навертывают на шпиндель станка, благодаря чему шаблон можно сменить в несколько раз быстрее.

В единых сериях асинхронных электродвигателей для первых трех габаритов применяют концентрические обмотки, которые при полузакрытой форме паза выполняют всыпными. Поскольку катушки в катушечной группе имеют разные шаги по пазам, шаблон для намотки выполняют ступенчатым (рис. 11). Отдельные ступени *1* шаблона, число которых равно числу катушек в катушечной группе, скрепляют шпилькой, пропущенной через отверстия *3* в каждом шаблоне. Ступени шаблона разъединены перегородками *2*. В них прорезаны прорези для перевода провода при намотке от одной ступени к другой и для вкладывания кусочков полотняной ленты для скрепления витков.

Рис. 11. Намоточный шаблон для концентрической обмотки

После намотки всей катушечной группы вынимают шпильку и разбирают ступени шаблона, чтобы снять намотанную катушечную группу.

В технологии электромашиностроения имеется много операций, для которых нет стандартного оборудования, изготовляемого машиностроительными заводами. Это заставляет электромашиностроительные заводы изготовлять такое оборудование собственными силами.

Основным видом оборудования обмоточных цехов являются намоточные станки, которые в зависимости от сечения провода катушки разделяются на легкие и тяжелые. По кинематике и конструкции намоточные станки для катушек статора и якоря очень несложны. В процессе намотки катушки станок должен преодолевать усилие торможения провода, необходимое для плотного облегания контура шаблона, и обеспечивать плавный пуск и быструю остановку.

Из различных конструкций привода намоточных станков наиболее проста система с качающимся электродвигателем. Электродвигатель *3* (рис. 12) установлен на площадке *4*, качающейся вокруг оси *5*. При нажатии на педаль *7* шкив *2* электродвигателя прижимается к фрикционному колесу *1* станка, обтянутому клиновым ремнем, и приводит его во вращение. При отпускании педали тормозная колодка *6*, ук-

репленная на одной площадке с электродвигателем, прижимается к фрикционному колесу и моментом, создаваемым массой электродвигателя, останавливает станок. Благодаря этому при остановке станка провод остается под натяжением и витки катушек не перепутываются.

Если катушка состоит из нескольких параллельных проводов, то их натяжение должно быть одинаковым и они должны ложиться в щель

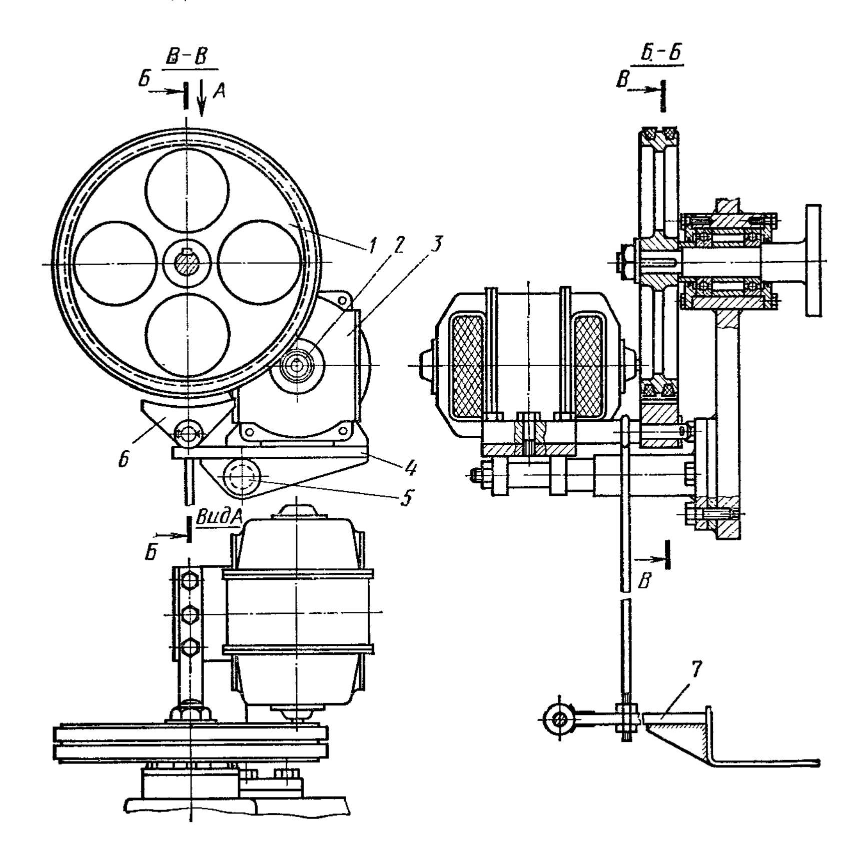


Рис. 12. Привод намоточного станка

шаблона пучком. Каждый намоточный станок должен быть снабжен приспособлением для натяжения и направления проводов, которое устанавливается на рейке станка и при переходе к намотке следующей катушки группы передвигается на величину шага между катушками в шаблоне. Натяжение создается посредством пропускания проводов через колодку, в которой они скользят между двумя прокладками из электрокартона. Направление проводов осуществляется роликами.

В статоре единой серии асинхронных двигателей число витков в катушке колеблется в пределах от 7 до 29. В процессе намотки катушек

намотчица считает витки. Если она сбивается, проверить намотанное число витков практически невозможно. Кроме того, счет числа витков сильно утомляет намотчицу, не исключает возможности ошибок и заставляет контролировать число витков после намотки. Для устранения этих недостатков модернизируют намоточные станки, вводя автоматическую остановку после намотки заданного числа витков. Настраивают станок на данное число витков, подбирая сменные шестерни в выключающем устройстве.

В обмотках с мягкими катушками при большом числе проводов в пазу его заполнение определяется толщиной междувитковой изоляции. Снижение толщины изоляции позволяет увеличить объем меди в пазу и соответственно повысить мощность машины. Ввиду недостаточной надежности проводов с эмалевой изоляцией приходилось применять обмоточный провод ПЭЛБО с комбинированной эмалево-волокнистой изоляцией. Применение проводов с высокопрочной эмалевой изоляцией позволило увеличить количество проводов в пазу. Хорошие результаты дало использование провода ПЭВТЛ-2 с эмалевой изоляцией (класс нагревостойкости Е), обладающего прочностью и влагостойкостью.

На заводах медные провода заменяют алюминиевыми. Электропроводность алюминия в 1,63 раза меньше электропроводности меди, поэтому при том же токе статора приходится увеличивать сечение провода во столько же раз. Если до замены провода статор обматывался медным проводом ПЭЛБО, то в двигателях малой мощности его заменяют алюминиевым проводом ПЭЛРА-2. Меньшая толщина изоляции алюминиевого провода позволяет увеличить диаметр голого провода и сохранить ту же мощность двигателя.

Перед укладкой катушек вкладывают в пазы гильзы, которые защищают изоляцию катушек от механических повреждений. Во всыпных обмотках пазовые гильзы одновременно изолируют обмотку от корпуса. Пазовая изоляция представляет собой однослойную или многослойную U-образную гильзу, материал которой подбирают в зависимости от класса нагревостойкости. Для класса А применяют электрокартон и лакоткань, для класса В — гибкий миканит или стеклолакоткань. При полузакрытых пазах пазовая гильза должна быть достаточно жесткой, чтобы не сминаться проводами обмотки при укладке их в пазы.

В статорных всыпных обмотках в течение многих лет применяли трехслойную пазовую гильзу, состоящую из двух полосок электрокартона *1* и *3* и одной полоски лакоткани *2* между ними (рис. 13, *а*, *I*). Между слоями обмотки в пазах и под деревянный клин *5* (рис. 13, *а*, *II*), ставят прокладки *4* в виде согнутых коробочек.

Внешняя полоска электрокартона защищала лакоткань от повреждений стенками паза, внутренняя — от смятия проводами обмотки, а изоляцию проводов — от повреждения коронками зубцов. Поэтому внутренняя полоска имела бóльшую ширину, края ее выступали из паза и их приходилось срезать после укладки обмотки в пазы. Однако и после срезания краев эта полоска была более широкой, чем другие, поэтому при заклинивании пазов она образовывала складки внутри

паза, снижающие коэффициент заполнения паза медью. Для устранения этого затруднения все три полоски нарезают одинаковой ширины, а в процессе укладки обмотки в паз вставляют дополнительные вкладыши *6* из фибры или электрокартона (рис. 13, *б*). После укладки всех проводов в паз вкладыши вытаскивают и вставляют в следующий паз.

Общая толщина трехслойной гильзы получается 0,6—0,65 мм. В машинах малой мощности такая гильза вместе с воздушными прослойками между полосками занимает до 30% площади паза. Кроме того, воздушные прослойки резко снижают теплопроводность пазовой изоляции, что повышает нагрев обмотки.

Рис. 13. Пазовые гильзы полузакрытого паза:

а — до модернизации, *б* — после модернизации

Толщину пазовой изоляции удалось значительно снизить путем замены составной гильзы пленкоэлектрокартоном, представляющим собой полоску картона толщиной 0,15 мм, оклеенную триацетатной пленкой толщиной 0,05 мм. В новой серии асинхронных двигателей 2—5-го габаритов применяют пазовую изоляцию, состоящую из пленки лавсана толщиной 0,05 мм в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,15—0,2 мм.

Нажимные шайбы статора изолируют несколькими полосками электрокартона. Толщину и количество их подбирают так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовых гильз, предохраняя их от разрывов при отгибании лобовых частей обмотки.

Анализ пробоев гильзовой изоляции электрических машин показывает, что слабым местом является выход гильзы из паза. Поэтому применяют и другие способы защиты гильз от разрывов — опиливание граней зубцов перед укладкой обмотки; укрепление выступающих из пазов концов гильз путем отбортовки; надевание на выступающие концы гильз штампованной из фибры гребенки.

Между лобовыми частями катушек всыпной обмотки, составляющих катушечную группу, вполне достаточной является междувитковая изоляция проводов. Но между катушечными группами ставят специальные прокладки из такого же материала, что и пазовые гильзы. Это объясняется тем, что соседние катушечные группы принадлежат к разным фазам и между ними действует линейное напряжение.

В машинах постоянного тока мощностью до 1 кВт провод укладывают непосредственно в пазы якоря, поэтому процесса намотки катушек нет. Это значительно уменьшает длину лобовых частей, особенно в двухполюсных машинах. Такие обмотки якоря называются ручными (они рассматриваются в § 67). Всыпные катушечные обмотки якоря применяют в машинах с полузакрытыми пазами мощностью примерно до 15 кВт.

В машинах большей мощности якори имеют открытые пазы, в которые вкладывают двухслойные обмотки, состоящие из формованных изолированных катушек. Процесс изготовления таких катушек значительно отличается от изготовления всыпных обмоток. При диаметре обмоточного провода более 1 мм катушки наматывают правильными рядами, а не врассыпную, как в катушках всыпных обмоток. Поэтому сечение катушки представляет собой прямоугольник со скругленными углами.

Рис. 14. Расположение проводов в пазу якоря

Обычно якорная катушка состоит из нескольких секций, число которых определяется отношением числа коллекторных пластин к числу пазов. *Секцией* называется часть катушки, заключенная между двумя коллекторными пластинами. Но число коллекторных пластин всегда больше числа пазов, поэтому в катушке несколько секций.

Число секций в катушке обозначают $u_п$. При намотке катушки шаблон делает несколько оборотов в зависимости от числа витков в секции, обозначаемого $w_с$. Таким образом, число проводов в сечении катушки равно произведению числа секций в катушке на число витков в секции.

Намотку катушки ведут сразу с нескольких барабанов по числу секций в ней. Поэтому перед намоткой бухту медного провода сначала перематывают на пустые барабаны.

У формованной якорной катушки провода на шаблоне располагаются так же, как в пазу якоря. Поэтому для удобства намотки секции в пазу должны располагаться по ширине паза, а витки катушки — по глубине паза. Это показано на рис. 14 для катушки, имеющей три секции и четыре витка. Буквами *Н* обозначены начала секций, а буквами *К* — их концы. При таком расположении проводов в пазу и на шаблоне намотку ведут с трех барабанов и шаблон делает четыре оборота. На этом же рисунке изображено другое расположение проводов в пазу, при котором секции размещены по глубине паза, а витки — по ширине. Очевидно, что при таком положении проводов катушку нельзя наматывать сразу тремя проводами, а приходится наматывать одним проводом в три приема: сначала нижний ряд, потом средний и, наконец, верхний. При этом время намотки возрастает более чем в три

раза. Кроме того, усложняется процесс подвода проводов к пластинам коллектора.

Если катушка должна быть намотана в два параллельных провода, то число проводов в сечении катушки, а следовательно, число барабанов удваивается. Обычно параллельные провода секции в пазу и на шаблоне располагают один над другим.

Якорные катушки имеют небольшое число витков (от 2 до 6), и машины постоянного тока выпускаются в значительно меньших количествах, чем асинхронные двигатели. Поэтому для намотки катушек якоря используют простые станки, относящиеся к так называемому нестандартному оборудованию, изготовляемому силами электромашиностроительного завода. В процессе намотки катушки станок должен преодолевать усилие торможения провода, необходимое для плотного облегания контура шаблона, и обеспечивать плавный пуск и быструю остановку.

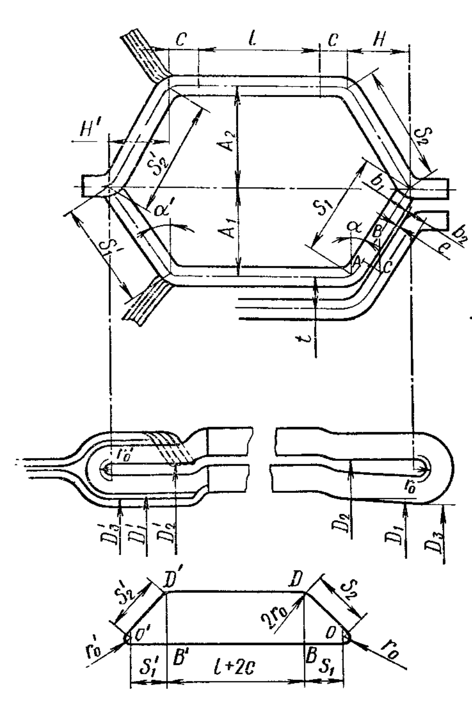


Рис. 15. К расчету намоточного шаблона

Качество намотки зависит от равномерного натяжения всех проводов. Натяжение проводов создают посредством огибания ими направляющих роликов, а соответствующую форму придают пучку проводов, пропуская их через прямоугольное отверстие в фибровой плашке.

Шаблон для якорных формованных катушек имеет вытянутую форму, называемую «лодочкой». Размеры сердечника шаблона можно получить только расчетным путем. Шаблоны для таких катушек требуют значительно большей точности изготовления, чем для статорных всыпных катушек. Если длина лобовых частей будет недостаточной, то катушки не уложатся на обмоткодержателях; при излишней длине лобовых частей обмотка может задевать за вентилятор или петушки коллекторных пластин.

На рабочих чертежах указывают размеры катушки в развернутом виде на две плоскости. Однако эти размеры являются недостаточными для изготовления шаблона. Для определения периметра шаблона необходимо рассчитать внутренний периметр развернутой катушки (рис. 15), который состоит из пазовых и лобовых частей со стороны коллектора и со стороны привода. Прямолинейная часть катушки складывается из конструктивной длины сердечника якоря l и длины

прямолинейных участков c от торца сердечника до точки перехода к лобовой части. Выбор величины c имеет очень важное значение для надежности обмотки. При недостаточной величине c наблюдается пробивание изоляции на углах зубцов. Выбор величины c зависит от рабочего напряжения машины. При напряжении до 150 В $c = 8$ мм; при напряжениях свыше 150 В и до 400 В $c = 10$ мм; при напряжениях свыше 400 В до 700 В $c = 12$ мм.

Радиус закругления r_0 в месте перехода прямолинейной части катушки в лобовую часть выбирают 3 мм при толщине проводника до 1 мм и 5 мм при большей толщине проводника.

Расчет лобовых частей заключается в определении наименьшего угла наклона лобовых частей a, при котором их можно уложить на якоре. Как видно на рис. 15, с уменьшением угла a уменьшается зазор e между лобовыми частями катушки. При расчете зазор e принимают равным 0,5—1,5 мм в самом тесном месте между сторонами катушек с утолщенной изоляцией. Меньшие значения берут для катушек, состоящих из небольшого числа проводников крупного сечения, которые имеют меньшее стремление к распушению.

Из треугольника ABC определяем

$$\sin \alpha = \frac{b}{t},$$

где

$$b = 0,5(b_1 + b_2) + e,$$

b_1 и b_2 — толщины смежных лобовых частей с учетом утолщения изоляции

$$t = \frac{\pi D_з}{z},$$

где z — число пазов якоря,
откуда

$$\sin \alpha = \frac{bz}{\pi D_з}.$$

При определении угла a принимается наименьший диаметр $D_з$ укладки проводников на якоре, так как на этой окружности зазор между катушками будет наименьшим.

Расстояние между прямолинейными частями катушки, определяемое числом пазов, равно шагу катушки по пазам y_z. Средняя ось катушки делит шаг пополам, поэтому развертки A_1 и A_2 можно определить по следующим формулам:

$$A_1 = 0,5y_z \frac{\pi D_1}{z} = 1,57 \frac{y_z}{z} D_1,$$

$$A_2 = 0,5y_z \frac{\pi D_2}{z} = 1,57 \frac{y_z}{z} D_2.$$

В этих формулах D_1 и D_2 являются диаметрами поверхностей, на которые развертываются нижние проводники лобовых частей катушки.

Вылет лобовых частей

$$H = A_1 \operatorname{tg}\alpha.$$

Развернутые длины лобовых частей определяются:

$$S_1 = \sqrt{A_1^2 + H^2},$$

$$S_2 = \sqrt{A_2^2 + H^2}.$$

Развернутая длина головки катушки по внутреннему радиусу

$$l_г = \pi r_0.$$

Радиус r_0 выбирают равным половине высоты катушки.

Размеры лобовых частей со стороны коллектора рассчитывают по совершенно аналогичным формулам, и входящие в расчет величины обозначены теми же буквами со штрихами.

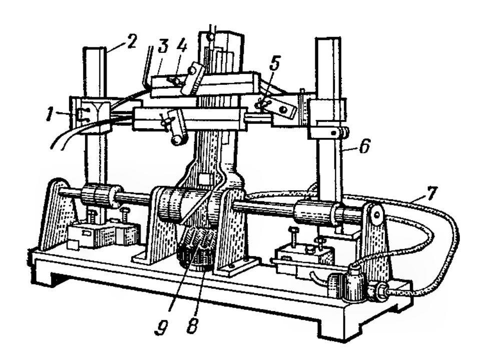


Рис. 16. Станок для растяжки катушек

Угол наклона лобовых частей со стороны коллектора α' получается меньше за счет того, что диаметр D_2' больше диаметра D_2.

На основании расчетов форму и размеры сердечника намоточного шаблона можно определить следующим образом: точки O и O' являются центрами радиусов закруглений. Длина нижней стороны шаблона соответствует развернутой длине нижней половины катушки, т. е. сумме размеров $l+2c+S_1+S_1'$.

Восстановим из точек B и B' перпендикуляры к нижней стороне шаблона. Проведя из точек O и O' окружности радиусами r_0 и r_0', сделаем из точек O и O' засечки радиусами S_2 и S_2'. Точки пересечения этих засечек с перпендикулярами, восстановленными из точек B и B', дадут точки D и D' профиля сердечника шаблона. Таким образом, форма лодочки является не случайной, а определяется формой, развернутой на плоскость катушки.

Заготовка катушки, снятая с намоточного шаблона, имеет плоскую форму. На якоре стороны катушки должны лежать в двух пазах, расположенных по окружности якоря. Операция разведения сторон катушки называется *растяжкой* и производится на специальных станках. Эти станки, вначале работавшие с ручным приводом, в настоящее время на всех заводах механизированы.

На рис. 16 показано устройство станка для растяжки катушек. Пазовые части катушки вкладывают в разъемные планки *3* и зажимают винтами *4*. Головки катушки зажимают винтами *5* в головных кулачках *1*, которые могут перемещаться вверх и вниз по стойкам *2* и *6*. Управ-

ление станком производится поворотом рукоятки воздухораспределительного крана, который направляет сжатый воздух от магистрали по трубкам 7. Воздух, поступающий в цилиндр, сообщает поступательное движение связанной с поршнем рейке, сцепленной с шестерней 8. На одном валу с шестерней 8 насажена коническая шестерня 9, которая сцеплена зубьями с коническими зубчатыми секторами. При вращении конической шестерни зубчатые секторы поворачиваются в разные стороны и раздвигают концы рычагов с зажатыми в них пазовыми частями катушки, разводя их на расстояние шага обмотки по пазам.

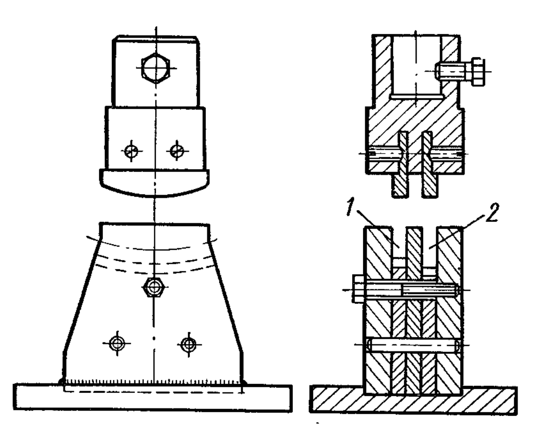


Рис. 17. Приспособление для выгибания лобовых частей катушек

У катушек, снятых с растяжного станка, пазовые части расположены в параллельных плоскостях. Между тем на якоре они должны быть расположены под углом, соответствующим центральному углу между пазами, в которые вкладывают пазовые части катушки, а лобовые части должны располагаться по винтовым линиям.

Радиусы винтовых линий для лобовых частей рассчитывают по формулам:

$$R_1 = 0{,}5\left(\frac{S_1}{A_1}\right)^2 D_1;\quad R_1' = 0{,}5\left(\frac{S_1'}{A_1}\right)^2 D_1;$$

$$R_2 = 0{,}5\left(\frac{S_2}{A_2}\right)^2 D_2;\quad R_2' = 0{,}5\left(\frac{S_2'}{A_2}\right)^2 D_2.$$

Для придания катушке окончательной формы ее лобовые части выгибают в специальных гибочных приспособлениях под пневматическим прессом (рис. 17). В гибочном шаблоне рядом расположены два желобка 1 и 2 для лобовых частей верхней и нижней сторон катушки.

После выгибания лобовых частей катушка получает окончательную форму и поступает в изолировку. В зависимости от конструкции обмотки изоляция катушки может быть гильзовой или непрерывной. В обоих случаях лобовые части катушки оплетают лентами. При непрерывной изоляции верхний защитный слой ленты в пазовых частях наматывают встык, а в лобовых — внахлестку.

Для изолировки катушек лентами вручную применяют изолировочные тиски. Они отличаются от слесарных тем, что катушка зажимается пружинами и поэтому не требуется дополнительного времени.

Кроме того, сжимающее усилие в них регулируется и исключается опасность повреждения изоляции.

На рис. 18 показано устройство изолировочных тисков завода «Динамо» с параллельным раствором губок и регулируемым усилием сжатия. Изолируемая катушка зажимается между неподвижной губкой *5* и подвижной *4*, которые приварены к двум цилиндрам *6* и *7*.

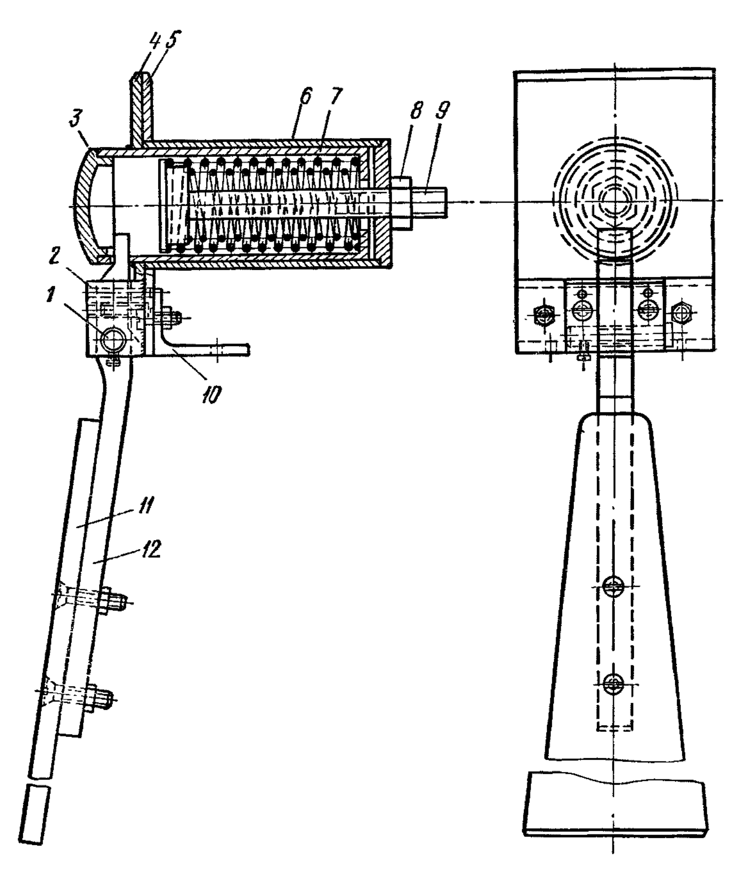


Рис. 18. Изолировочные тиски

Губки сжимаются двумя пружинами, помещенными в цилиндре *7*. Пружины предварительно сжаты центральным штоком *9* с навернутой на него гайкой *8*, при помощи которой можно регулировать усилие сжатия.

Наружный цилиндр *6* крепится к верстаку приваренным к нему угольником *10*, а внутренний закрыт крышкой *3* и имеет прорезь, в которую входит зуб рычага *12*. Этот рычаг поворачивается на оси *1*, закрепленной в обойме *2*. При нажиме ногой на текстолитовую планку *11* губки тисков раскрываются. Изолируемую катушку вынимают,

вставляя на ее место другую. Губки тисков периодически очищают от налипшего на них лака.

Ручная изолировка является очень трудоемкой операцией. Значительно увеличивается производительность труда с помощью изолировочных станков. Настольный станок для изолировки якорных катушек показан на рис. 19. Ролик *7* с лентой, укрепленный на вращающемся кольце *2*, обегает вокруг сечения изолируемой катушки *8*, которой от руки сообщают равномерное поступательное движение.

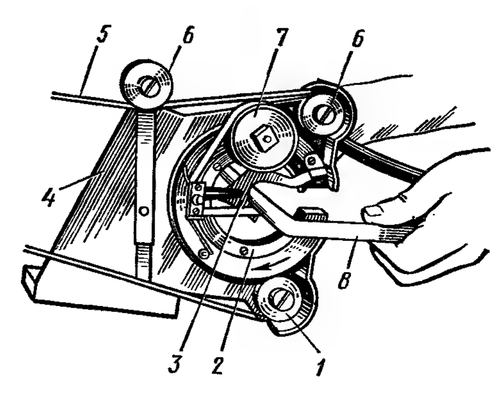


Рис. 19. Изолировочный настольный станок

Для ввода катушки в корпусе станка и кольце сделаны прорези (в положении, изображенном на рисунке, они совпадают). Кольцо приводится во вращение от шкива электродвигателя через круглый ремень *5*, проходящий через направляющие ролики *1* и *6* и охватывающий кольцо с обратной стороны, чтобы не пересекать прорезей для ввода катушки. Сторону катушки кладут на неподвижный упор *3* поддерживающего рычага. Корпус *4* станка крепят винтами к столу.

Принцип устройства этого станка положен в основу сложных полуавтоматических изолировочных станков для крупных катушек и стержней.

§ 8. КАТУШКИ СТАТОРА ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

Для машин переменного тока мощностью выше 100 кВт наматывать катушки статора из круглого провода было бы очень трудно, так как пришлось бы брать слишком большое число параллельных проводов. Поэтому для мощных машин катушки наматывают из проводов прямоугольного сечения, которые вкладывают в пазы с параллельными стенками. Такими пазами могут быть полуоткрытый и открытый.

В машинах мощностью до 400 кВт при напряжении до 660 В применяют полуоткрытые пазы. Они отличаются от полузакрытых пазов тем, что прорезь паза сдвинута с середины в сторону и по величине равна половине ширины паза (см. рис. 1, *в*).

Чтобы можно было заполнить паз через прорезь, каждую катушку делят по ширине на две. Таким образом, общее число катушек в два раза больше числа пазов, что усложняет процессы намотки и изолировки катушек. Тем не менее полуоткрытые пазы применяют в машинах переменного тока, так как по сравнению с открытыми они создают меньшее сопротивление для магнитного потока, что позволяет повысить $\cos \varphi$ машины и снизить пульсационные потери.

Провода каждой полукатушки оплетены лентой, и в пазы вложены изоляционные гильзы из двух слоев электрокартона с проложенной между ними полоской лакоткани. Таким образом, изоляцией от корпуса, так же как и во всыпных обмотках, служит пазовая гильза. Особенно трудоемкой является изоляция вручную лентой лобовых частей полукатушек.

В последнее время разработан метод изолировки лобовых частей специальным лаком КП22. После растяжки полукатушки погружают лобовыми частями в лак, просушивают при температуре 150—170° С в течение 5—10 мин и укладывают в пазы. Предварительная пропитка в лаке КП22 позволила отменить и изоляцию пазовых частей телефонной бумагой, так как этот лак обладает высокой склеивающей способностью. Таким образом, применение новых изоляционных составов дало возможность коренным образом изменить весь технологический процесс изготовления полукатушек и резко поднять производительность труда.

Для машин напряжением выше 660 В гильзовая изоляция недостаточно надежна, поэтому все высоковольтные машины переменного тока выполняют с непрерывной изоляцией статорных катушек путем оплетания их лентами по всему контуру. Число слоев ленты определяется напряжением машины и условиями ее работы. Катушки с непрерывной изоляцией могут быть вложены только в открытые пазы.

Катушки наматывают из прямоугольного провода ППЛБО, изоляция которого состоит из трех слоев лавсановой пленки и обмотки из хлопчатобумажной пряжи. Если катушки наматывают из провода ПБД или ПСД, требуется дополнительная изоляция каждого витка микалентой или синтолентой. Раньше эту изолировку проводили вручную после намотки катушки на шаблон-лодочку. В настоящее время наложение витков изоляции механизировано. Чтобы скорость движения провода была постоянной, катушку наматывают на цилиндрический шаблон, периметр которого равен ее периметру.

Намоточно-изолировочный станок ШЛМ (рис. 20) приводится во вращение электродвигателем *9* через ременную передачу. Для соединения станка с передачей служит фрикционная муфта *3* и гаечный

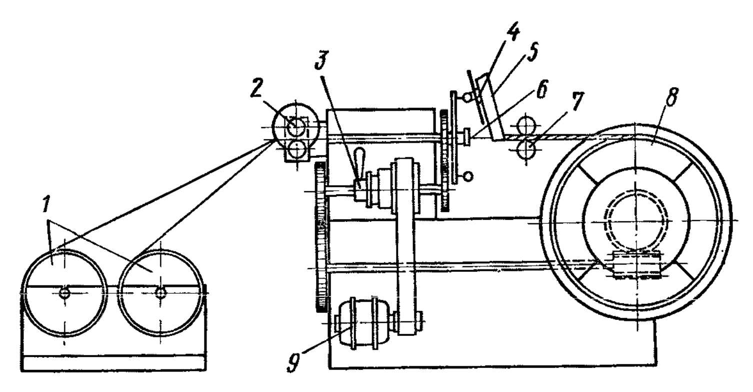


Рис. 20. Намоточно-изолировочный станок ШЛМ

выключатель, сидящие на промежуточном валике. От этого валика через зубчатую передачу вращается корпус *4* механического обмотчика, представляющего собой наклонно установленный диск с надетыми на него роликами *5* с изоляционной лентой.

Через червячную передачу и вторую пару зубчатых колес приводится во вращение намоточный шаблон *8*. Скорости вращения шаблона и механического обмотчика должны быть согласованы так, чтобы провод передвигался через шпиндель *6* станка за один оборот обмотчика на величину перекрытия ленты. Провод подается на станок с барабанов *1*. Число их определяется числом параллельных проводов в катушке. Перед шпинделем станка провод проходит между роликами *2*, разглаживающими неровности. Ролики *7* служат для поддержания провода на участке изолировки. После намотки круглую заготовку растягивают в виде лодочки.

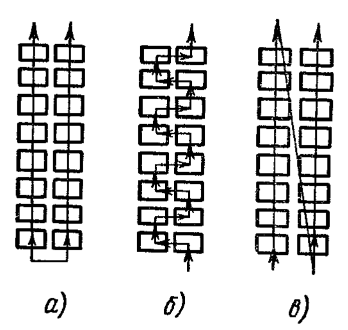


Рис. 21. Схемы намотки катушек статора:
а, б, в — варианты намотки

Обмотка статора при открытых пазах состоит из одиночных катушек, число которых для двухслойной обмотки равно числу пазов. На заводе им. Владимира Ильича была проведена работа по замене провода ПБД эмалированным прямоугольным проводом ПЭВП с дополнительной междувитковой изоляцией из синтоленты. Испытания машин дали хорошие результаты и позволили уменьшить размеры пазов путем уменьшения толщины витковой изоляции.

Во всех машинах большой мощности применяют катушки с двухрядным расположением проводов по ширине паза. На рис. 21 показаны схемы намотки катушек статора. Наиболее простым является способ намотки, изображенный на рис. 21, *а*. Однако при этом в высоковольтных машинах получается большое напряжение между выводными концами катушки. Для снижения напряжения применяют намотку по схеме, показанной на рис. 21, *б*, связанную со значительными технологическими трудностями. Как видно из схемы, в каждом ряду надо делать переходы вначале справа налево, а затем слева направо. Для этого при каждом обороте шаблона приходится провод перекладывать из одного ряда в другой в лобовой части катушки и дополнительно изолировать переходы.

При намотке по схеме, изображенной на рис. 21, *в*, эти трудности устраняются. Сначала наматывают один вертикальный ряд проводов, а затем, при обратном направлении вращения станка,— второй. Переходы делают в головке катушки. Иногда ряды проводов наматывают отдельно, а места их соединений сваривают.

Для укладки в пазы статора пазовые части должны быть разведены на величину шага обмотки и расположены под углом между пазами, в которые вкладывают стороны катушки. Для этого заготовку-лодочку подвергают второй растяжке в катушку. Растяжка катушек высоковольтных обмоток статора отличается от растяжки якорных катушек.

У якорной обмотки лобовые части верхнего и нижнего слоев почти вплотную прилегают одна к другой, в то время как в статорных обмотках они удалены друг от друга на значительное расстояние. Статорные катушки имеют большие размеры как линейные, так и поперечного сечения, что требует более мощных растяжных станков. Одновременно с растяжкой пазовых частей катушки следует расположить их под углом, так как добиться этого выгибанием лобовых частей после растяжки невозможно. При растяжке надо остерегаться повреждения междувитковой изоляции из микаленты. При растяжке статорных катушек провода прямоугольного сечения в лобовых частях выгибаются на ребро, что требует приложения больших усилий.

Выполнение всех этих требований возможно только при радиальной растяжке статорных катушек на специальных станках со сложной кинематикой и пневматическим приводом. Ввиду того что на каждом заводе в производстве находятся несколько типов статорных обмоток, растяжные станки выполняют с настройкой на катушки разных размеров в определенном диапазоне. Управление растяжными станками с пневматическим приводом осуществляется при помощи двух трехходовых кранов, рукоятки которых рабочий должен поворачивать в строго определенной последовательности.

В последнее время применяют полуавтоматические растяжные станки. Рабочий устанавливает намотанную на станке заготовку-лодочку и нажимает кнопку «пуск». Все операции растяжки катушки по шагу и окончательной формовки полуавтомат выполняет без участия рабочего, который только снимает со станка готовую катушку.

На рис. 22 показан полуавтомат завода им. Владимира Ильича, предназначенный для растяжки и формовки катушек статора двигателей единой серии 8—11-го габаритов. Настройка станка на растяжку катушек разной длины производится винтами *2* с правой и левой резьбой, которые передвигают механизмы растяжки *12* и *15* и механизмы формовки *7* и *19* лобовых частей по станине симметрично от центральной вертикальной оси станка. Их положение проверяют по делениям шкалы *28* на станине станка. В установленном положении механизмы запирают рукоятками *27*.

Заготовку-лодочку устанавливают на фиксирующих штырях *8* и в зажимных устройствах механизмов растяжки. Нажимают кнопку *21* на пульте. При этом замыкается цепь электромагнита пневматического распределительного золотникового крана, который впускает сжатый воздух в шесть пневматических цилиндров зажимных устройств. Цилиндры *9*, *13*, *14* и *17* зажимают пазовые части заготовки, а цилиндры *6* и *18* — лобовые части.

Один из шести зажимных цилиндров занимает крайнее положение последним, так как сжатый воздух к нему подается через отверстие меньшего диаметра, чем к другим цилиндрам. Когда этот цилиндр займет крайнее положение, через переключатель *10* подается команда распределительному золотниковому крану на подачу сжатого воздуха в рабочую полость главного силового цилиндра *24*, приводящего в действие механизмы растяжки катушки.

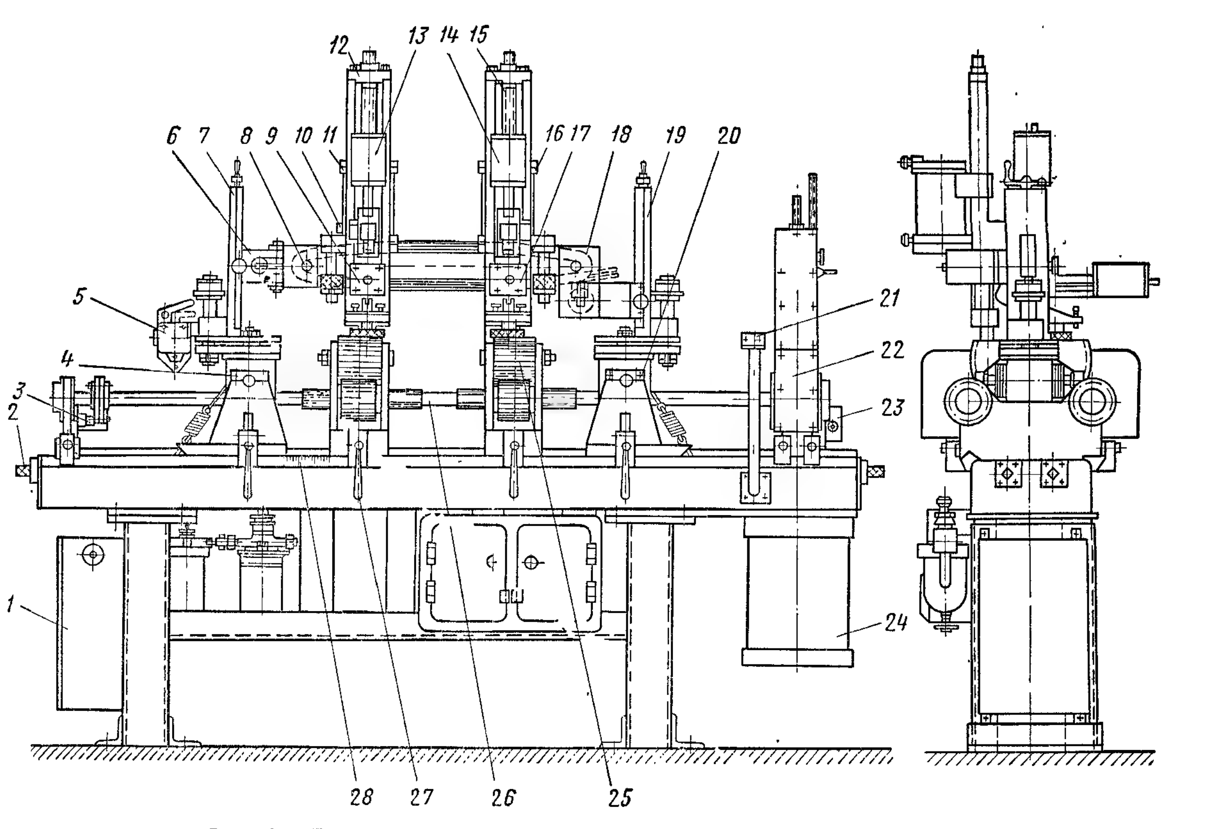


Рис. 22. Полуавтомат для растяжки и формовки катушек статора

Шток цилиндра *24* соединен с двусторонней зубчатой рейкой в механизме *22* главного привода. В зацепление с зубцами рейки входят две шестерни на концах шлицевых валиков *26*. Валики приводят во вращение шестерни механизмов растяжки, которые поворачивают в разные стороны зубчатые секторы *25*. При этом рычаги механизмов растяжки вместе с зажатыми в них пазовыми частями катушки поворачиваются в разные стороны и производят растяжку пазовых частей на величину шага катушки по пазам статора.

Механизм растяжки, не доходя до своего крайнего положения, упором кулачка включает концевой переключатель *3*, который через электромагнитный распределительный кран *11* или *16* подает сжатый воздух в цилиндр, формующий катушку в горизонтальной плоскости. При крайнем положении механизма растяжки включается концевой переключатель *23*, дающий команду через электромагнитный распределительный кран *4* или *20* пневматическим цилиндрам выполнить операцию формовки катушки в вертикальной плоскости. На этом формовка катушки заканчивается.

Через направляющий валик включается концевой переключатель *5*, дающий команду шести пневматическим цилиндрам зажимных устройств освободить готовую катушку. Рабочий снимает ее со станка. Нажатием второй кнопки на пульте управления механизмы растяжки возвращаются в исходное положение. Станок готов для растяжки следующей катушки. Все электрооборудование автоматического цикла размещено в шкафу *1* под станиной полуавтомата.

После снятия с растяжного станка катушка не имеет точных размеров, необходимых для вкладывания ее в пазы, так как лобовые части пружинят, а пазовые части разбухают вследствие неплотностей между витками. Поэтому у жестких катушек прессуют пазовые части и рихтуют лобовые части.

Если катушку не компаундировали в форме лодочки, то провода обмотки перед прессовкой покрывают клеящими лаками, имеющими свойство полимеризоваться, т. е. переходить в неплавкое и нерастворимое состояние при нагреве. К таким лакам относятся бакелитовый, глифталевый, а также лаки на эпоксидных смолах. Процесс прессовки пазовых частей заключается в том, что катушку нагревают под давлением и затем охлаждают, не снимая давления. При нагреве связующие вещества размягчаются и заполняют поры изоляции, а при охлаждении затвердевают и скрепляют провода катушки.

На рис. 23 показано устройство приспособления для рихтовки жестких катушек статора с одновременной прессовкой пазовых частей. Катушку после растяжки вкладывают пазовыми частями в пазы *1* и *2* между пуансоном и матрицей приспособления и зажимают посредством пневматического цилиндра *3*. После этого рихтуют лобовые части по желобкам *4* приспособления ударами молотка через фибровую прокладку.

Растяжка и рихтовка катушек требуют применения значительных усилий. Ввиду того что рабочие ходы станков для этих операций относительно невелики, а движение требуется главным образом возвратно-поступательное с переменным усилием в начале и конце хода,

привод от электродвигателя является мало подходящим. Поэтому станки для растяжки и рихтовки долгое время выполнялись с ручным приводом с шестеренной, рычажной или винтовой передачей. Работа на таких станках была очень утомительной, а ручной привод снижал использование оборудования. Наиболее подходящими приводами являются гидравлические или пневматические цилиндры.

Достоинство гидравлического привода при высоком давлении жидкости заключается в малом объеме цилиндров. Гидравлический привод широко применяется при прессовке катушек крупных электрических машин, но он требует сложного и дорогого оборудования в виде индивидуальных насосов или громоздкой аккумуляторной установки. Пневматический привод надежен и прост в изготовлении и всегда обеспечен сжатым воздухом, который необходим в обмоточном и изолировочном цехах. Большие размеры рабочих цилиндров при низком давлении в заводских сетях окупаются простотой изготовления, что особенно важно потому, что эти станки изготовляются каждым заводом для собственных нужд. С целью снижения числа разновидных деталей диаметры рабочих цилиндров и другие детали нормализуют.

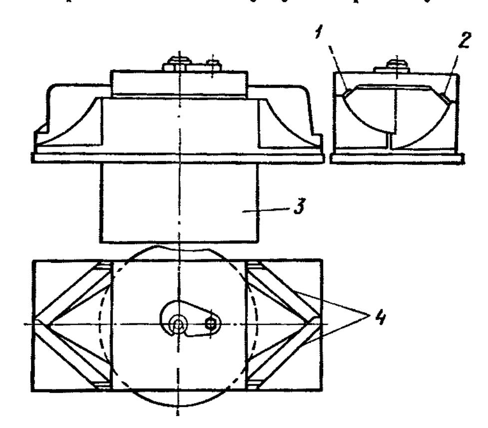


Рис. 23. Приспособление для рихтовки жестких катушек статора

На рис. 24, *а* показано устройство пневматического цилиндра рихтовочного приспособления, показанного на рис. 23. Цилиндр *1* отлит из чугуна. Внутренняя поверхность цилиндра чисто отполирована во избежание быстрого износа манжет *4*. Корпус *2* поршня также отлит из чугуна. Между манжетами прямого и обратного хода вставлено кольцо *3*, которое точно пригнано по отверстию цилиндра и для уменьшения трения выполнено из другого металла. Манжеты стянуты кольцом *5*. Цилиндр закрыт крышкой *8*, которая привернута болтами *7*. Шаг между болтами выбирают 50—80 мм в зависимости от толщины крышки, чтобы предотвратить утечку воздуха вследствие деформации крышки. Прокладка *6* из промасленной бумаги толщиной 0,1 мм служит для дополнительного уплотнения стыка.

В середине крышки ввинчен штуцер с ввернутыми в него мундштуками для соединения с воздухораспределительным краном при помощи резиновых шлангов. Один мундштук соединен с нижней камерой цилиндра, а другой — через отверстие в стенке — с верхней камерой для обратного хода поршня. Для уплотнения штока поршня служит специальная манжета. Лучшими в отношении износоустойчивости и дешевизны оказались манжеты из полихлорвинила.

Воздухораспределительный кран для управления цилиндром по-

казан на рис. 24, *б*. Он состоит из корпуса *11*, в котором просверлены четыре отверстия, из которых отверстие *I* (рис. 24, *г*) соединено с сетью сжатого воздуха, отверстие *III* — с атмосферой, а отверстия *II* и *IV* — с мундштуками прямого и обратного хода поршня. В центре корпуса проходит валик *12* (рис. 24, *б*), нижний конец которого со-

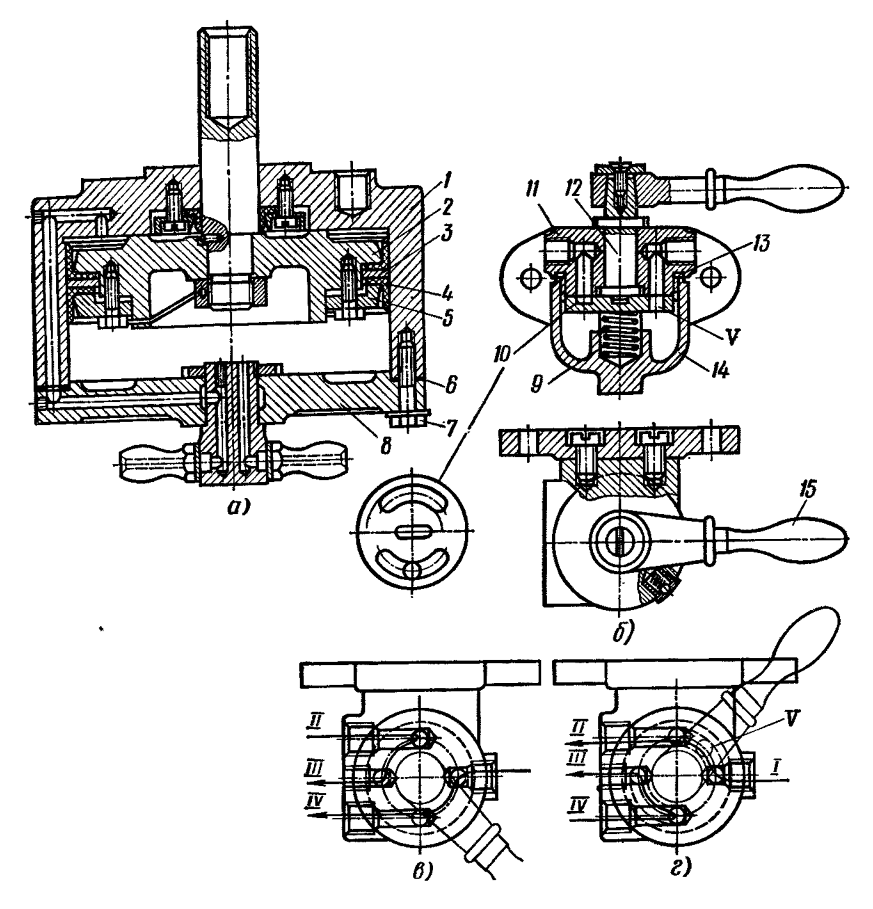


Рис. 24. Пневматический цилиндр:
а — общий вид, *б* — воздухораспределительный кран, *в*, *г* — положения крана

единен с золотником *10*, а на верхний конический конец надета рукоятка управления *15*. При повороте рукоятки в одну сторону (рис. 24, *в*) воздух из сети поступает в отверстие *II*, а отверстие *IV* соединяется с атмосферой. При этом происходит рабочий ход поршня. Для обратного хода рукоятку поворачивают на 90° (рис. 22, *г*) и с сетью соединяется отверстие *IV*, а отверстие *II* соединяется с атмосферой. При среднем положении рукоятки все отверстия закрыты и поршень остается неподвижным. В целях устранения утечки воздуха к корпусу

крана привернут колпак *14* (рис. 24, *б*) с уплотнением *13*. Пружина *9* создает предварительное прижатие золотника к корпусу крана. Через отверстие *V* колпак все время соединен с воздушной сетью.

Статорные катушки высоковольтных машин имеют исключительно непрерывную изоляцию, причем число слоев изоляции в пазовой части обычно больше, чем в лобовых частях. Это объясняется тем, что пробой изоляции между медью и стальным сердечником более вероятен, чем между проводами в лобовых частях.

Непрерывная изоляция дает возможность компаундировать катушку после изолировки, чего нельзя сделать при гильзовой изоляции, так как слои гильзы непроницаемы для компаундной массы. Электрическая прочность непрерывной изоляции значительно выше, чем гильзовой, в которой слабым местом являются стыки пазовой гильзы с ленточной изоляцией лобовых частей.

Катушки в процессе производства оплетают не только основной изоляцией, но и временной лентой, которую затем снимают. Так, например, катушки оплетают лентой перед прессовкой и рихтовкой для предохранения изоляции провода от повреждений. Временную ленту наматывают перед каждым компаундированием, чтобы снять наплывы компаундной массы вместе с временной лентой после охлаждения катушки.

Катушки изолируют лентами на полуавтоматических изолировочных станках, которые заряжают роликами с лентой. Затем вставляют и закрепляют изолируемую катушку. Остальные операции производятся автоматически. Существует два типа изолировочных станков. У одних положение механического обмотчика остается неизменным, а движение подачи совершает сама катушка; у других катушка неподвижна, а ролик с лентой обходит ее лобовые и пазовые части в процессе изолировки. Первые применяют для катушек машин средней мощности, вторые — для крупных катушек и стержней.

На рис. 25 показана кинематическая схема изолировочного станка ЛШ-4, у которого движение подачи совершает катушка (изолировочный станок второго типа описывается в § 12). Станок имеет привод от электродвигателя *9*, который ременной передачей связан с коробкой скоростей *7*. Реверсирование станка для холостого хода осуществляется рукояткой *8*; при этом муфтой сцепления *10* отключают изолировочную головку. От главного вала коробки скоростей *6* движение передается в двух направлениях:

через систему зубчатых колес к изолировочной головке *3* (изменение скорости достигается переводом муфты вправо или влево);

через червячную передачу *5* и две пары зубчатых колес на реечное зацепление, сообщающее поступательное движение каретке станка.

Изолируемая катушка *11* закрепляется головками в катушкодержателях *2* плавающего типа, установленных на каретке *1* станка. Одна сторона катушки через прорезь изолировочной головки вводится в зону изолировки. Изолировка начинается от одной головки катушки. Сначала изолируется одна лобовая часть, затем пазовая и вторая лобовая часть. При переходе от лобовой части к пазовой катушка поворачивается на угол наклона лобовой части. Это движение осуществ-

ляется перекатыванием зубчатых колес по рейке *4*. Головки катушки изолируют вручную.

Станок предназначен для наложения корпусной изоляции на статорные катушки высоковольтных машин. Производительность его 70—80 катушек в смену; она во многом зависит от прочности и эластичности ленты, которой катушка изолируется.

Весь технологический процесс изготовления катушек высоковольтных обмоток статора состоит из следующих операций:

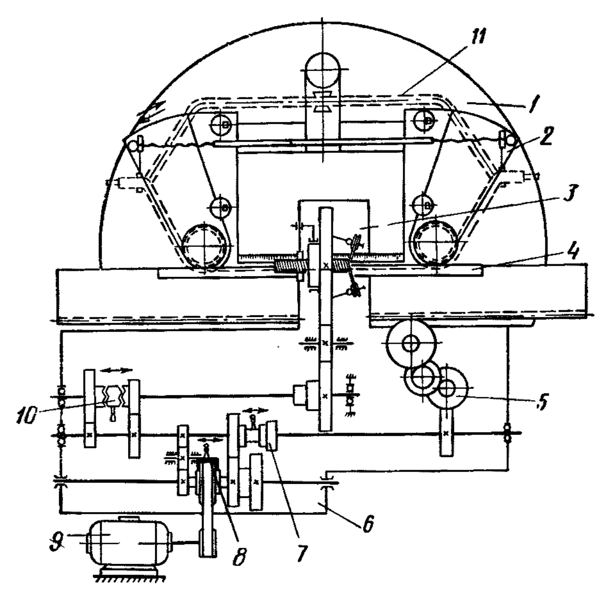


Рис. 25. Кинематическая схема изолировочного станка ЛШ-4

1) намотка круглой заготовки с одновременным наложением витковой изоляции;
2) обмотка заготовки лентой под опрессовку;
3) растяжка заготовки в лодочку;
4) первая опрессовка лодочки в гидропрессах;
5) подготовка к первому компаундированию;
6) первое компаундирование лодочки;
7) обдирка временной ленты и обмотка лентой под вторую опрессовку;
8) вторая опрессовка лодочки в гидропрессах;
9) растяжка лодочки в катушку;
10) рихтовка катушки на шаблоне;
11) наложение корпусной изоляции;
12) подготовка ко второму компаундированию;
13) второе компаундирование;
14) обдирка временной ленты, калибровка пазовых частей и зачистка концов.

Операции 1, 2, 3, 4, 6, 8 и 13 механизированы, остальные выполняют вручную.

Наложение витковой изоляции в процессе изготовления катушки являлось временной мерой, продиктованной отсутствием обмоточных проводов с достаточно надежной изоляцией. После освоения кабельными заводами проводов ППТБО и других марок с теплостойкой изоляцией процесс наложения витковой изоляции будет исключен из технологии электромашиностроительных заводов.

§ 9. КАТУШКИ РОТОРА ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

В асинхронных двигателях старых серий применяли два типа обмоток ротора: катушечные из круглого провода для двигателей мощностью примерно до 10 кВт и стержневые для двигателей большей мощ-

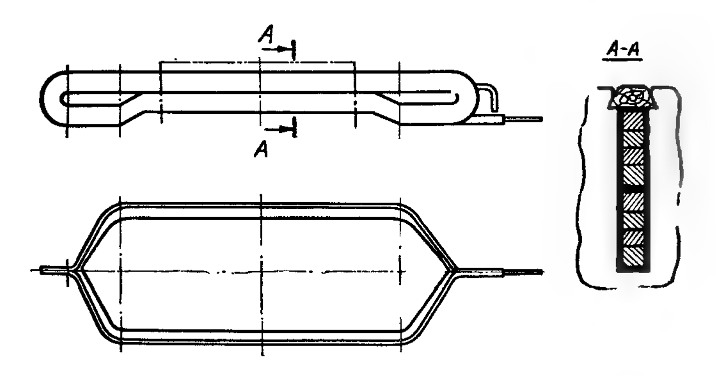


Рис. 26. Жесткая многовитковая катушка роторной обмотки

ности. В единой серии асинхронных двигателей АК впервые в практике электромашиностроения стержневые обмотки роторов всех двигателей мощностью до 100 кВт стали выполнять из жестких многовитковых катушек, вкладываемых в открытые пазы ротора (рис. 26). Конструктивная особенность этих обмоток заключается в том, что провода располагаются в один ряд в пазу. Это несколько усложняет процесс намотки катушек, но зато существенно улучшает условия охлаждения, так как каждый провод обеими сторонами граничит со стенками паза.

Катушечные обмотки ротора в двигателях малой мощности имеют следующие преимущества перед стержневыми обмотками;

значительное сокращение числа паек, потому что катушечную группу наматывают на шаблоне непрерывным проводом;

устранение операций изолировки стержней и гибки их на роторе, так как катушки наматывают из изолированного провода и они получают окончательную форму до укладки в пазы;

значительное сокращение времени укладки обмотки в пазы.

Для намотки катушечной группы роторной обмотки применяют

стальные шаблоны с числом желобков, равным максимальному числу катушек в катушечной группе. При намотке однорядных катушек из тонкого провода снимать намотанную катушечную группу с сердечника шаблона трудно, так как при сильном натяжении провода, необходимом для плотного облегания сердечника, создается большое трение между ним и проводом. Вследствие этого необходимо прикладывать большие усилия, под действием которых витки катушки деформируются и их приходится дополнительно рихтовать. При этом выпадают прокладки из электрокартона между витками и повреждается изоляция проводов.

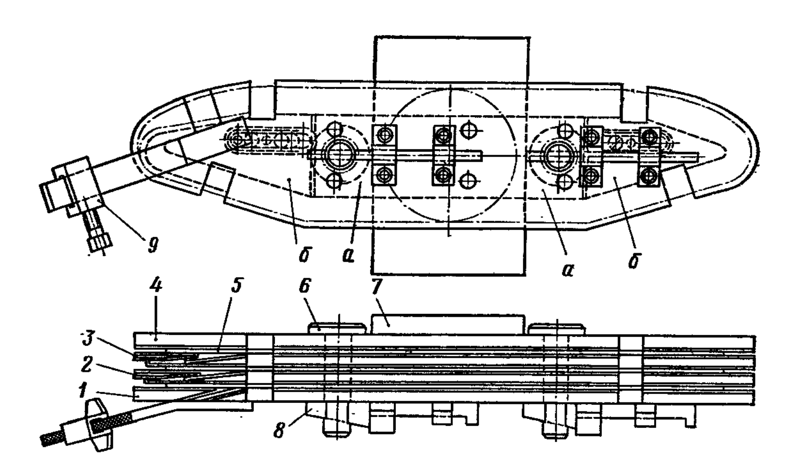


Рис. 27. Намоточный шаблон для роторных катушек

В шаблонах, применяемых на заводе им. Владимира Ильича (рис. 27), эти недостатки устранены путем изменения конструкции шаблона. К основанию *4* шаблона приварена пластина *7* для крепления его к шпинделю намоточного станка. На основании жестко закреплены два стержня *6*, на которые нанизаны сердечники *5* с промежуточными перегородками *2* и *3* и крышка *1* шаблона. Хомутик *9* служит для закрепления провода. Шаблон имеет три сердечника в соответствии с числом катушек в катушечной группе.

Особенность конструкции шаблона заключается в том, что сердечники выполнены не из одного куска стали, как в шаблонах обычной конструкции, а состоят из средних частей *а* и крайних *б*. Крайние части сердечников имеют возможность продольно перемещаться по овальным пазам. Таким образом при вынутых средних частях сердечников крайние части могут несколько сдвигаться к центру шаблона.

Части шаблона крепятся следующим образом. К крышке *1* прикреплена средняя часть первого сердечника, крайние его части подвижно соединены с перегородкой *2*. К обратной стороне этой перегородки приклепана средняя часть второго сердечника, крайние его части соединены с перегородкой *3*. Наконец, средняя часть третьего сердечника

прикреплена к обратной стороне перегородки *3*, крайние части скреплены с основанием *4*.

После намотки катушечной группы выбивают клинья *8* из проушин в стержнях *6* и поднимают крышку *1* шаблона вместе со средней частью первого сердечника. При этом крайние части этого сердечника сдвигают к центру и первую катушку легко снимают с сердечника. Затем удаляют перегородку *2*, после чего освобождается вторая катушка. И, наконец, сняв перегородку *3*, вынимают третью катушку. Собирают шаблон в обратной последовательности. Благодаря такой конструкции шаблона исключены операции рихтовки катушек, увеличилась производительность труда и повысилось качество обмоток.

§ 10. КАТУШКИ ЯКОРЯ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

В мягких катушках якоря верхний слой выводных концов катушки выходит из-под лобовых частей и для подвода к пластинам коллектора провода перегибают. Это относительно легко сделать в катушках из круглого провода и очень трудно в жестких катушках из прямоугольного провода, так как углы провода могут продавить изоляцию соседних проводов, с которыми они перекрещиваются. Поэтому жесткие катушки обмотки якоря выполняют без перекрещивания выводных концов. На рис. 28 видно, что нижний слой выводных концов выходит из-под петли лобовых частей, а верхний слой — над петлей.

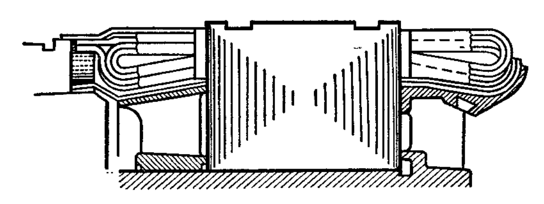


Рис. 28. Катушка якоря с двойной головкой

Особенность конструкции катушек из прямоугольного провода заключается в том, что перекрещивание проводов, которое при круглых проводах находится со стороны коллектора, перенесено на другую сторону якоря. Катушка в месте перекрещивания имеет двойную толщину, поэтому и названа катушкой с двойной головкой. Достоинством такой катушки является то, что перекрещивание проводов в двойной головке не очень опасно, так как между головками проложена дополнительная изоляция, и в процессе укладки в пазы головка катушки не подвергается таким сильным деформациям, как выводные концы.

На рис. 29 показан шаблон для намотки катушек с двойной головкой. По конструкции он гораздо сложнее, чем шаблон для мягких катушек. Шаблон имеет две щеки, причем задняя *1* служит для центрирования и крепления передней щеки *4*, на которой расположены скобы *3* под зажимные клинья. Существенной особенностью этого шаблона является средняя перегородка *5* между сердечниками, которая имеет в верхней или в нижней пазовой части наклонно прорезанный паз *2* для перехода проводов катушки с одного сердечника на другой,

соединяющий две противоположные лобовые части разных сердечников. Задний сердечник имеет одну головку.

Намотка жестких катушек из прямоугольного изолированного провода на ребро представляет собой значительно более трудную операцию, чем намотка мягких катушек якоря. Для плотного прилегания проводов к шаблону требуется сильное натяжение проводов при намотке и обязательное подбивание лобовых частей на шаблоне молотком через фибровую прокладку, толщина которой равна ширине паза якоря.

Катушки наматывают на тихоходных намоточных станках, снабженных мощным приводом с червячной передачей и фрикционом.

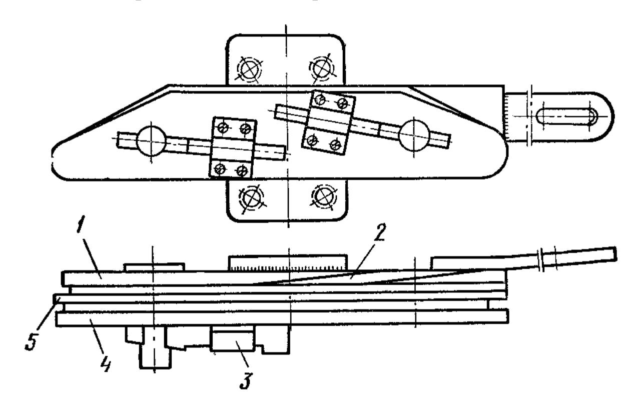


Рис. 29. Шаблон для намотки катушек с двойной головкой

Передача и фрикцион должны плавно увеличивать скорость станка и обеспечивать мгновенную остановку шпинделя на любой позиции при помощи ленточного или дискового тормоза. Плашки для натяга проводов обычно базируются на стойке, заделанной в фундамент станка и имеющей в верхней части П-образную нижнюю металлическую скобу и верхнюю шарнирно укрепленную скобу с натяжным болтом. Между скобами вкладывают деревянные плашки, через которые пропускают обмоточный провод. Растяжка и формовка лобовых частей жестких катушек производятся аналогично соответствующим операциям над мягкими катушками.

Катушки с двойной головкой, как правило, выполняют двухвитковыми, и поэтому двойная головка получается симметричной (см. рис. 28). При большем числе витков во второй желобок ложится только последний виток и головка получается несимметричной. В якорях диаметром до 150 мм иногда нельзя применить обмотки с двойной головкой из-за недостатка места по окружности обмоткодержателя для укладки двойных головок.

В процессе намотки катушка подвергается сильным механическим воздействиям, поэтому для катушек с двойной головкой применяют провода с надежной двойной волокнистой изоляцией марок ПБД или

ПДА. Головки катушек дополнительно изолируют лентой из лакоткани и между ними вставляют штампованные из электрокартона прокладки, а затем обе головки оплетают киперной или полотняной лентой.

При изолировке вручную больших катушек усилия зажатия, создаваемого пружинными тисками (см. рис. 18), недостаточно. Чтобы катушка не сдвигалась натяжением изоляционной ленты, приходится зажимать ее в непосредственной близости от изолируемого участка, а для этого надо несколько раз переставлять катушку в тисках.

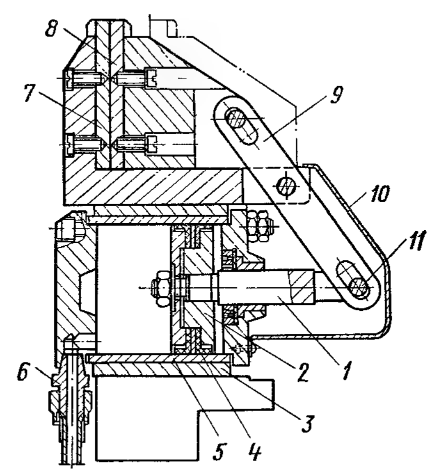


Рис. 30. Пневматические тиски для изолировки катушек

На рис. 30 показана конструкция пневматических тисков для изолировки катушек больших машин. На корпусе *3* смонтирован пневматический цилиндр *5* диаметром 75 мм. Шток *1* поршня *2* штифтами *11* соединен с тягой *9*, второй конец которой укреплен на подвижной губке *8*. Катушка зажимается между неподвижной *7* и подвижной губками с усилием 150 кгс при давлении воздуха в магистрали 4 кгс/см^2. Для предупреждения утечки воздуха в цилиндре установлены манжеты *4* из бензомаслостойкой резины. Ход подвижной губки (25 мм) позволяет зажимать катушки с большим сечением меди. Тиски включаются при помощи педального клапана и золотникового устройства, подающего воздух, в цилиндр *5* через штуцер *6*. Для защиты рук от повреждений подвижными частями служат щитки *10*. Тиски повышают производительность и улучшают условия труда.

§ 11. РОТОРНЫЕ КАТУШКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Роторные обмотки турбогенераторов состоят из катушек, которые имеют коренные отличия от других обмоток как в отношении конструкции, так и технологии. Геометрия обмотки определяется тем, что в тесном пространстве надо расположить обмотку возбуждения с очень большой намагничивающей силой. Поэтому обмотка выполняется как однослойная концентрическая. Пазовые части двухслойных обмоток располагаются под углом вследствие выгиба лобовых частей. В турбороторных обмотках такое расположение пазовых частей получается за счет намотки каждой катушки с переменной шириной витков, уменьшающейся по мере приближения к центру ротора (рис. 31), что требует применения специальных намоточных станков.

На рис. 32 показана кинематическая схема намоточного станка. Он состоит из двух отдельных составных частей: поворотного стола с механизмом автоматического сближения колонок и консольного под-

вижного хобота с поворотной стойкой. Каждая из этих частей имеет индивидуальный электропривод. Пульт управления общий и вынесен на корпус хобота.

Перед намоткой катушек на раздвижные плиты *2* поворотного стола устанавливают и закрепляют четыре колонки *1* с оправками, обеспечивающими требуемый радиус закругления медной шины на изгибах. Бухту с проводом *14* устанавливают на вращающийся барабан, а свободный конец провода пропускают через рихтовочное приспособление *13*, закрепленное на продольных направляющих поворотной стойки *11*. Затем конец провода пропускают через намоточную головку *7* и закрепляют планкой на одной из колонок. Вращательное движение столу станка передается от электродвигателя *15* через цилиндрическую зубчатую передачу, трехступенчатую плоскоременную передачу, электромагнитную муфту *16*, червячную передачу и затем через цилиндрическую зубчатую пару, большая шестерня *5* которой закреплена на планшайбе стола.

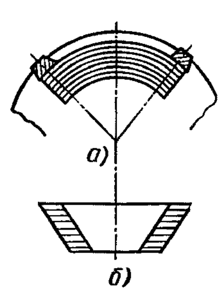


Рис. 31. Схемы катушек ротора турбогенератора:
а — уложенная в пазы, *б* — намотанная на станке

При вращении стола против часовой стрелки намоточная головка, установленная на конце хобота, загибает медную полосу вокруг оправки. При этом хобот *9* под действием планшайбы выдвигается из стоек и поворачивается на некоторый угол вокруг ее вертикальной оси. Поворот хобота продолжается до тех пор, пока две колонки не займут положение, параллельное его продольной оси. После этого планшайба стола отключается выключением муфты *16*; одновременно включается электромагнитный тормоз *17*. Обратное движение хобота от колонки, на которой изгиб полосы закончен, осуществляет-

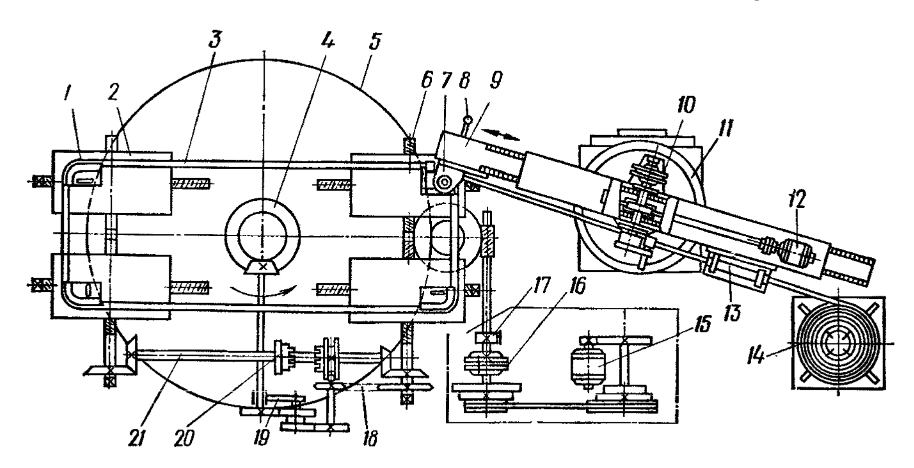


Рис. 32. Кинематическая схема станка для намотки роторных катушек турбогенератора

ся электродвигателем *12* через червячную и шестеренно-реечную передачи. Шестерни шестеренно-реечной передачи вводятся в зацепление с рейкой электромагнитной муфтой *10*. Управление муфтами *10* и *16* и тормозом *17* производится рукояткой *8*.

После того как намоточная головка *7* надвигается на оправку следующей колонки, движение хобота прекращается путем отключения муфты *10*. Включается поворот планшайбы стола, а следовательно, головка начинает огибать колонку. В такой последовательности повторяют циклы поворота планшайбы стола и возвратного движения хобота до окончания намотки катушки. Намотанные витки *3* после оформления всех четырех закруглений последовательно опускаются вниз на плиту стола. Намотку, как правило, начинают с широкого витка.

Уменьшение ширины витков на станке производят с помощью сменных шестерен гитары *19*. Передача движения на винты *6* автоматического сближения плит с колонками осуществляется путем обкатывания малой конической шестерней неподвижной конической шестерни *4*, которая закреплена внутри станины станка.

С гитары движение передается через червячную пару и соединительную муфту *20* на соединительный вал *21*. На его концах насажены конические шестерни, которые сидят на винтах *6*. Для быстрого сближения плит пользуются другой передачей движения через зубчатые звездочки, соединенные цепью *18*, на один из винтов *6*. Второй винт получает вращение от соединительного вала *21*. В этом случае муфта *20* должна быть разъединена.

При вращении планшайбы станка медная шина изгибается на ребро. При этом прямоугольное сечение шины превращается в трапецеидальное. Увеличение толщины шины в местах закруглений вызывает значительное увеличение общей высоты катушки. При вращении ротора турбогенератора утолщения витков создают высокие местные давления на витковую изоляцию под действием центробежной силы. Для устранения утолщений витков существует несколько способов: фрезерование утолщений цилиндрической фрезой после намотки, строгание полосы в месте закругления до намотки и срезание утолщений в процессе изгиба полосы.

После намотки катушки поступают на слесарный участок для снятия утолщений на закруглениях, если они не сняты на намоточном станке. Чтобы облегчить укладку катушек в пазы ротора, необходимо снять наклеп на лобовых частях путем отжига. Для этого катушки располагают на верстаке так, чтобы лобовые части выступали над ванной с водой, и нагревают их двумя газовыми горелками до 600—700°C. При быстром погружении в воду окалина легко отделяется. Витки катушки очищают от окалины и заусенцев, выгибают в приспособлениях концы междукатушечных соединений, взвешивают катушки и навешивают на них бирки с обозначением массы. После окончательного контроля внешним осмотром катушки поступают на изолировку.

Для изолировки катушки развешивают на стойках специальных столов узкими витками кверху. Одна секция стола показана на рис. 33. Каркас стола сваривают из угловой стали и обшивают тонкой листо-

вой сталью. С двух сторон навешивают дверки и, установив нужное количество полок, используют внутреннее пространство каркаса для хранения изоляционных материалов. На верхней плоскости крепят поперечные швеллеры *1* с пазами для установки оснований *4* стоек, которые крепят к швеллеру болтами с гайками *7*. Расстояние между стойками устанавливают на 30—40 мм меньше узкого витка катушки. Стойки *6* крепят шарнирно на основаниях при помощи петель *3* и в рабочем положении фиксируют закладками *2*. По всей высоте в стойках просверлены отверстия для прутков *5*, на которые надеты бакелитовые трубки.

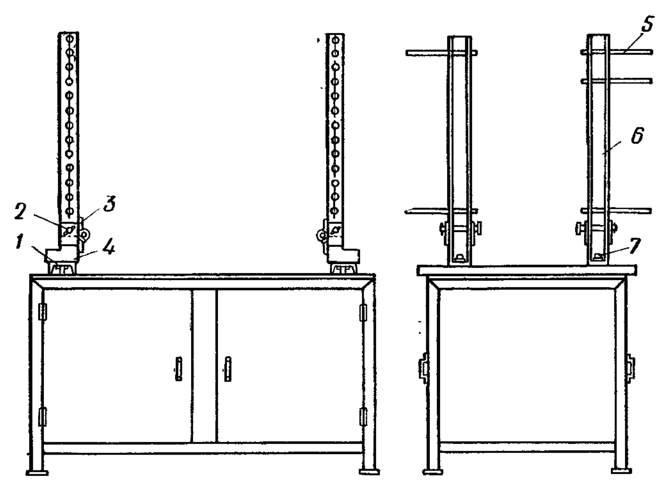


Рис. 33. Секция стола для изолировки катушек

Развешенную на стойках катушку внимательно осматривают, чтобы убедиться в отсутствии заусенцев и забоин на меди, после чего производят обезжиривание. Для этого каждый виток протирают ветошью, смоченной в бензине и ацетоне, и затем сухой ветошью. Если катушки должны быть изолированы миканитовой изоляцией, то витки с помощью кисти промазывают лаком ЭФ-5, накладывают на них полоски миканита и снова промазывают лаком, на который вперекрышку кладут второй слой миканита, приклеивают его липкой стеклолентой, наматываемой впритык. После закрепления миканита витки снова промазывают лаком. Проверив отсутствие контакта между витками и деталями стола, сушат катушку в течение 6 ч при 180° С, пропуская через нее постоянный ток.

При витковой изоляции из стеклополотна каждый виток обматывают стеклолентой, пропитанной лаком, и катушку просушивают на воздухе в течение 12 ч. Перед опусканием со стоек витки покрывают тальком для предотвращения слипания. Готовые катушки упаковывают в кабельную бумагу и укладывают в специальные рамы для транспортировки на обмоточный участок.

Хотя роторные обмотки турбогенераторов рассчитаны на невысо-

кое напряжение, изоляция их от пазов должна быть очень надежной, так как она подвергается большим механическим напряжениям от действия центробежных сил при вращении ротора. В качестве изоляции используют коробки роторного паза, которые для турбогенераторов небольшой мощности прессуют из формовочного миканита, а для мощных генераторов из стеклоткани на термореактивном лаке. Коробки роторного паза прессуют и запекают в пресс-формах (рис. 34), устанавливаемых в многоблочных гидравлических прессах с паровым обогревом. Дополнительно к паровому имеется электрический обогрев для удобства регулирования температуры. Нагреватели *3* устанавливают в пазах составной матрицы *1* и пуансона *2*.

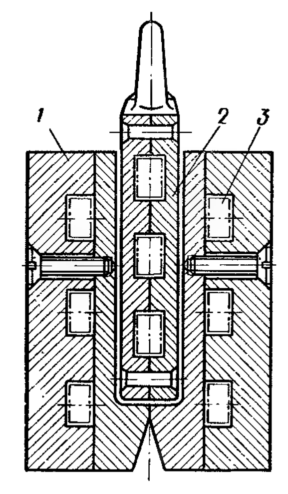


Рис. 34. Пресс форма для коробки роторного паза

Роторные коробки из стеклоткани изготовляют так. На рычажных ножницах нарезают стеклоткань с припуском 30 мм на сторону. Перед началом прессования пресс-форму осматривают, очищают от наплывов лака металлической щеткой и протирают чистой ветошью. Набирают требуемое количество полос стеклоткани для получения указанной в чертеже толщины коробки. Для повышения электрической прочности через каждые 4—5 слоев стеклоткани прокладывают лист бумаги, пропитанной изоляционным лаком. Во избежание прилипания коробки к пресс-форме между ними прокладывают триацетатную пленку. Подготовленные листы изоляционных материалов накладывают на пуансон, подвешенный над матрицей, крепят временной лентой и опускают пуансон в пресс-форму, удаляя временную ленту.

Включают паровой и электрический обогревы. Вначале дают давление сверху, а затем боковое. При достижении температуры 100°С увеличивают давление сверху до 15 кгс/см^2 и боковое до 30 кгс/см^2. Поднимают температуру в пресс-форме до 160°С и выдерживают ее в течение 2 ч при толщине коробки 1 мм и 5 ч при толщине коробки 2 мм. Охлаждение пресс-формы после окончания режима прессования производится холодной водой, пропускаемой вместо пара через каналы в плитах гидропресса. После охлаждения пресс-формы снимают давление пресса. Готовая гильза должна быть монолитной и не расслаиваться. Затем обрезают припуски по длине и высоте на вибрационных станках. Готовые коробки испытывают на электрическую прочность.

Для изолировки обмотки ротора от бандажных колец применяют изоляционные сегменты, которыми покрывают всю поверхность лобовых частей. Раскрой материала и набор пакетов производятся так же, как для коробок роторного паза. Сегмент подбандажной изоляции имеет бортик, поэтому конструкция пресс-формы предусматривает обеспечение давления на сегмент в двух направ-

лениях. Это достигается за счет того, что пресс-форму устанавливают на наклонной подставке *5* (рис. 35), которая постоянно закреплена на плите *6* пресса. В подставке расположены плиты электрического *3* и парового *4* обогрева. Матрицу *2* пресс-формы крепят к нижней подставке специальными скобами. Пуансон *1* закрепляют в верхней плите.

В матрицу пресс-формы, нагретой до 30—40°С, кладут собранный пакет заготовок. При этом внимательно следят за их размещением,

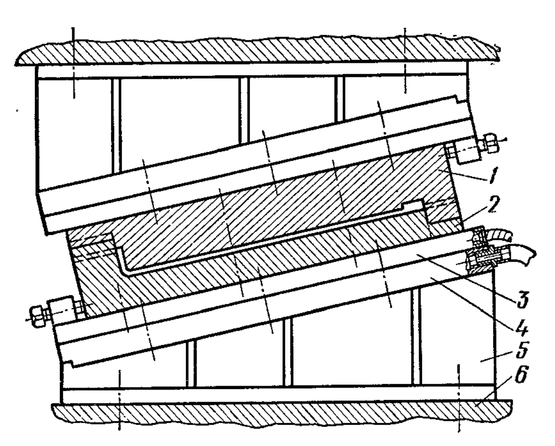


Рис. 35. Пресс-форма для сегмента подбандажной изоляции

чтобы при прессовании на бортике не могли возникнуть морщины и складки. Вначале прессуют заготовки сегментов при удельном давлении 50 кгс/см² в течение 1—2 мин. Окончательную прессовку сегментов производят при 140—160°С, выдерживая давление в течение 1 ч. Затем выключают обогрев, не снимая давления. Сегменты вынимают из пресс-формы после снижения температуры до 80—100°С. Изготовленные сегменты должны иметь гладкую поверхность без вздутий, трещин и морщин.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о схеме устройства намоточного шаблона.
2. Какой принцип положен в основу расчета намоточного шаблона?
3. Из чего состоит изоляция паза всыпных обмоток?
4. Как устроен станок для растяжки катушек?
5. Расскажите об устройстве изолировочных тисков.
6. Каково устройство намоточно-изолировочного станка?
7. Какие применяют способы раскладки проводов в пазу?
8. Объясните схему работы полуавтомата для растяжки катушек статора.
9. Каков принцип работы изолировочного станка?
10. В каких обмотках применяют катушки якоря с двойной головкой?
11. Каково устройство тисков для изолировки катушек?
12. Как устроен станок для намотки катушек турбогенераторов?
13. Расскажите о процессе изготовления коробок роторного паза?

ГЛАВА III. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК

§ 12. СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРА

Стержневые обмотки применяют в крупных генераторах. Они состоят из стержней, концы которых соединяют при помощи пайки с обеих сторон статора. Каждый стержень состоит из отдельных проводников, число которых достигает 40 и более. Для уменьшения потерь от вихревых токов проводники переплетают по длине статора. В целях удобства переплетения проводники располагают в пазу в два ряда по ширине паза и, таким образом, каждый стержень состоит из двух полустержней в общей изоляции. Стержни обмотки выполняют из проводов марки ПДА и, чаще, ПСД.

Большинство обмоток стержневого типа двухслойные с двумя стержнями в пазу. По форме стержней двухполюсные обмотки турбогенераторов выполняют как петлевые (с выгибом лобовых частей в одну сторону), а многополюсные обмотки гидрогенераторов — как волновые (с выгибом лобовых частей в разные стороны). На технологию влияют также размеры стержней. Длина пазовой части стержня турбогенератора превышает 6 м, а масса 135 кг.

При мощностях выше 100 тыс. кВт обмотки выполняют из полых проводов, через которые пропускают охлаждающую воду. На концы стержней напаяны медные наконечники, которые для сплошных проводов являются лишь токоведущими частями, а для полых проводов одновременно служат для подвода воды.

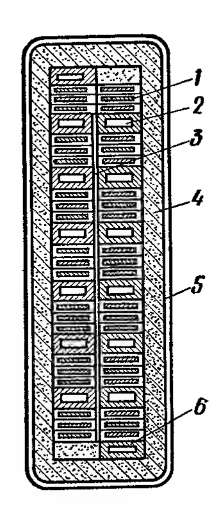


Рис. 36. Разрез пазовой части стержня статорной обмотки

На рис. 36 показан разрез пазовой части стержня статорной обмотки турбогенератора с водяным охлаждением проводов. Он состоит из сплошных *1* и полых *2* проводов. Между рядами проводов проложена асбестовая бумага *3* толщиной 0,5 мм, пропитанная бакелитовым лаком. Все провода стержня обмотаны в полуперекрышку 20 слоями микаленты *4* толщиной 0,13 мм. В местах переходов проложен гибкий миканит *6*. Поверх микаленты стержень обернут асбестовой лентой *5* толщиной 0,5 мм. Как видно на рисунке, два места (верхнее в правом ряду и нижнее в левом) остаются незаполненными проводами. Они необходимы для переплетения проводов.

На рис. 37 показан плетеный стержень. Как

видно на рисунке, элементарные провода при переплетении меняются местами по высоте паза, благодаря чему их индуктивные сопротивления выравниваются. Расстояние t между перегибами двух проводов называют шагом плетения. Длина плетеной части стержня

$$L_0 = 2nt,$$

где n — число элементарных проводов по высоте стержня.

Сплошные и полые провода поступают с кабельного завода в виде бухт. Каждую бухту полых проводов испытывают на проходимость ка-

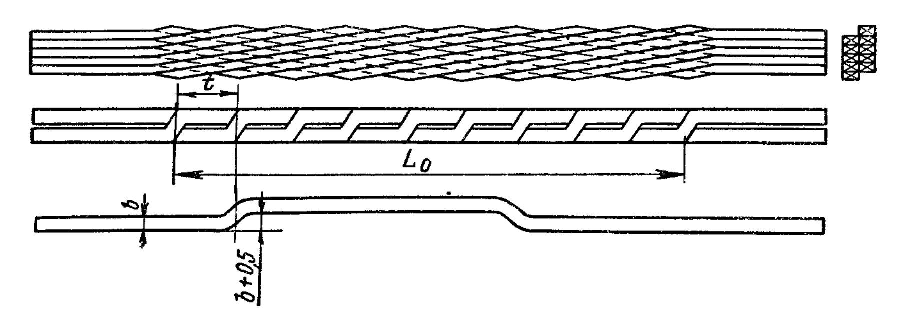


Рис. 37. Плетеный стержень обмотки статора

нала и механическую прочность. Проходимость канала проверяют, подавая воду от гидравлического насоса в один конец бухты и наблюдая за вытеканием воды из другого конца бухты. Для проверки на механическую прочность один конец провода зажимают в тисках, а давление воды доводят до 70 кгс/см². Если при выдержке в течение 1 мин давление остается неизменным и вода не вытекает через стенки провода, то это свидетельствует о его достаточной механической прочности и отсутствии повреждений.

Резку меди производят на медерезательных полуавтоматах. В последнее время они усовершенствованы и снабжены программным управлением. Кроме правки и резки проводов полуавтоматы зачищают концы элементарных проводов от изоляции и сбрасывают нарезанные стержни на рабочий стол. На этом столе установлены два пневматических штампа для выгиба переходов. Расстояние между выгибами равно половине плетеной части стержня, а расстояния от конца провода до первого выгиба у всех проводов должны быть разные. Для этого концы проводов упирают в ступенчатую гребенку (рис. 38, *а*), число уступов которой равно числу проводов в половине стержня (рис. 38, *б*). Провода, уложенные в гнезда пневматических штампов, зажимают с торца при помощи ползуна. Включая штампы одновременно, производят выгиб двух переходов на ребро всех проводов полустержня (рис. 38, *в*). Затем провода вынимают из штампа, выравнивают их торцы и скрепляют скобой в середине полустержня.

Переплетение ведут от середины полустержня, причем сначала все провода переплетают в местах первого перегиба, так, чтобы второй

провод менялся местами с первым, третий со вторым и последний с предпоследним (рис. 38, *г*). После этого плетения верхний и нижний провода меняют местами. Второе плетение полустержня производят в местах второго перегиба. Теперь все провода занимают на обоих концах одинаковые места по высоте стержня.

Второй полустержень нарезают, изгибают и переплетают аналогично первому. Для получения целого плетеного стержня (рис. 38, *д*) вкладывают между полустержнями изоляционную прокладку, скла-

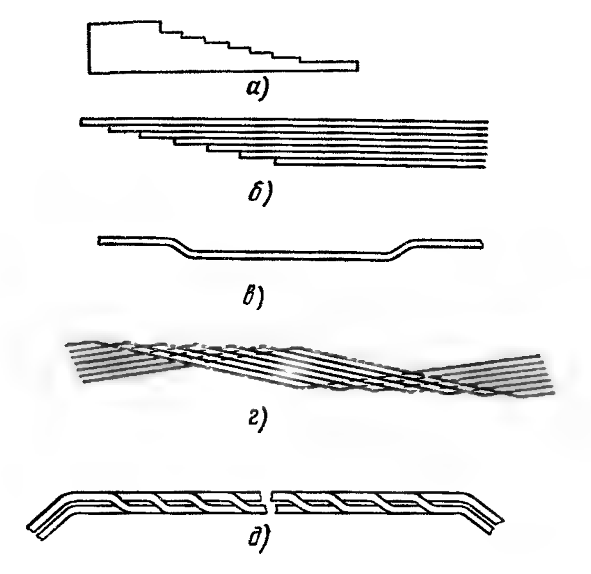
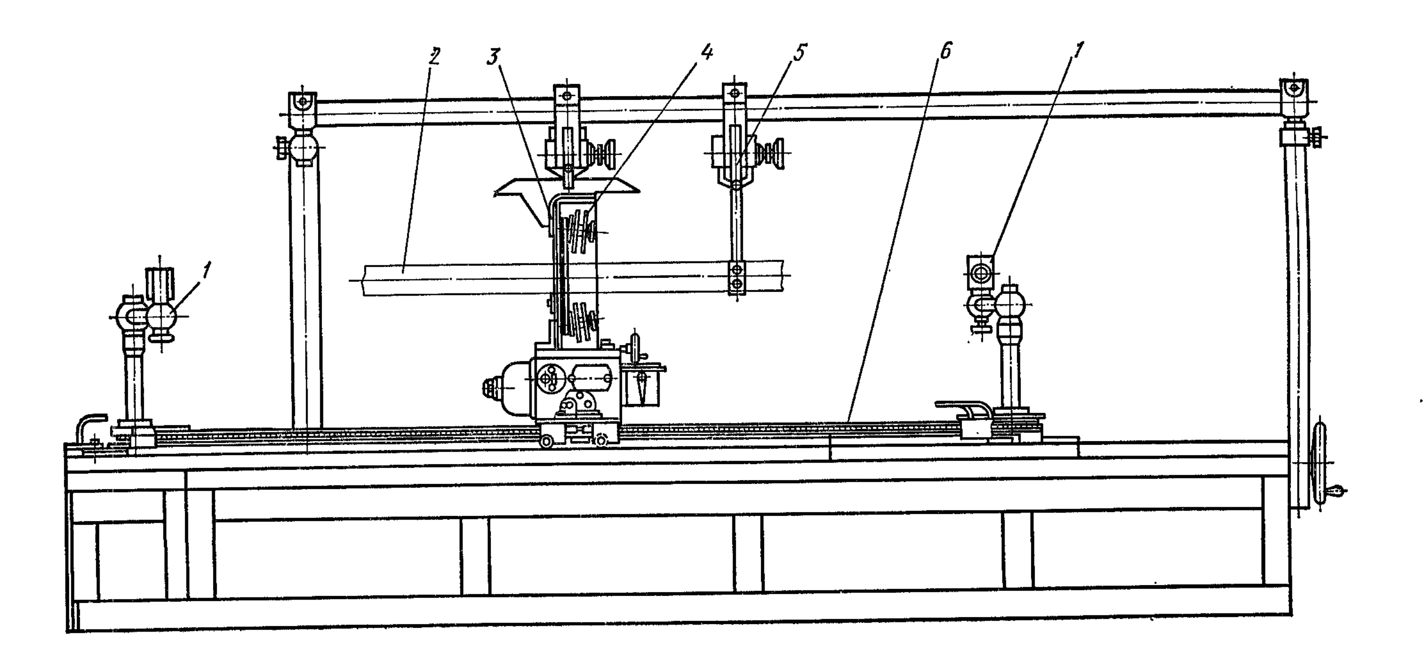


Рис. 38. Процесс плетения и формовки стержней:
а — д — последовательность процесса

дывают их боковыми сторонами и рихтуют по длине плетеной части. После этого тупым ножом приподнимают провода и в местах перегибов подкладывают под каждый переход миканитовые прокладки, а получившиеся углубления заполняют асбестовой бумагой, пропитанной в битумно-масляном лаке.

Для придания стержню монолитности плетеную часть обильно промазывают бакелитовым лаком, стержень обматывают киперной лентой и кладут в пресс-форму гидравлического пресса с паровым обогревом и последующим водяным охлаждением плит. Ввиду большой длины стержня прессовку производят на десятиблочном прессе. Он состоит из десяти блоков, установленных на общей станине. Каждый блок в свою очередь состоит из двух гидравлических цилиндров. Усилие горизонтального цилиндра составляет 30 тс при давлении масла 200 кгс/см^2, а усилие, создаваемое вертикальным цилиндром,— 12 тс. После прессовки пазовой части производят проверку стержня на отсутствие замыканий между элементарными проводами.


1
2
3
4
5
6
1

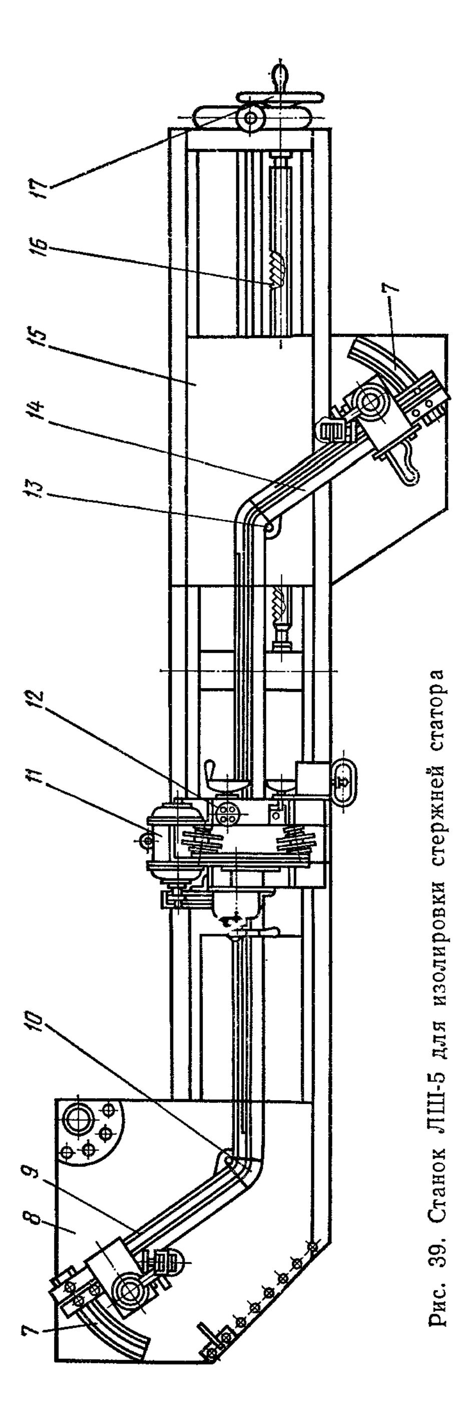


Рис. 39. Станок ЛШ-5 для изолировки стержней статора

Концы стержней обрезают, зачищают до блеска, надевают на них наконечники и запаивают серебряным припоем. После пайки стержни подвергают гидравлическим испытаниям для проверки проходимости полых проводов.

Для придания монолитности лобовым частям их промазывают бакелитовым лаком и прессуют на специальных шаблонах. Запекание лака производят путем пропускания через полые провода пара под давлением 8 кгс/см² при 150—160° С. Бакелитовый лак полимеризуется и скрепляет провода между собой. После запечки стержней на шаблоне их повторно подвергают гидравлическим испытаниям. Благодаря формовке и запеканию лобовых частей стержней на шаблонах лобовые части сохраняют правильную форму при укладке обмотки в пазы, что приводит к уменьшению механических повреждений в процессе укладки обмотки.

Изолировка стержней является весьма трудоемкой операцией. Так, например, на обмотку статора турбогенератора мощностью 100 тыс. кВт требуется намотать около 100 км микаленты. Для механизации изолировки разработаны изолировочные станки, повышающие производительность труда в несколько раз.

На рис. 39 показана конструкция станка ЛШ-5 для изолировки стержней статора. Концы стержня *2* зажимают в кронштейнах *1*; пазовая часть поддерживается двумя стержнедержателями *5*. Каретка *12*, приводимая в движение электродвигателем *11*, перемещается по копирам

и обходит контур стержня. На каретке установлена вращающаяся розетка *3* с четырьмя катушками *4*, на которые надеты рулоны ленты. С двух катушек одновременно на стержень наматывается микалента, а две другие служат для обматывания его защитной киперной лентой.

Перемещение каретки осуществляется путем зацепления ее ведущей шестерни с рейкой *6* стола. Розетка приводится во вращение кареткой, при обратных ходах которой розетка может отключаться и оставаться неподвижной. Чтобы лента плотно облегала стержень, катушки расположены под углом к нему. Натяжение ленты создается торможением катушек. Станок приспособлен для обматывания стержня лентой как при прямом, так и при обратном ходе каретки.

Стержень вводят в отверстие каретки, находящейся в крайнем положении, и закрепляют. Он должен быть установлен концентрично с розеткой.

Положение стержня регулируют перемещением внутри розетки вращающегося ролика, на который стержень опирается. Скорости движения каретки и вращения розетки согласованы так, что лента наматывается на стержень вполнахлеста.

Перед изолировкой стержней других машин станок перестраивают следующим образом. При удлинении пазовой части отодвигают подвижную часть *15* стола от неподвижной *8* вращением ходового винта *16* с помощью маховичка *17*. Угол между пазовой и лобовой частями изменяют поворотом копиров *9* и *14* лобовых частей вокруг осей *13*. Для этого съемной рукояткой поворачивают шестерню на конце копира, находящуюся в зацеплении с зубчатым сектором *7*. После поворота копиров должны быть сменены вставки *10*.

Устройство стержнедержателя показано на рис. 40. При подходе розетки обмоточных головок держатель автоматически раскрывается, а затем снова закрывается. Стержень удерживается рычагами *6* и *13*, которые закреплены в корпусе *10* и могут вращаться вокруг оси *8*. Верхние части рычагов связаны шарнирами *7* и *11* с шарнирными осями *9* и *12*. Ось *9* запрессована в подвижную вилку *1* и может перемещаться вместе с ней по направляющему пазу корпуса.

К вилке прикреплена зубчатая рейка *2*, которая находится в зацеплении с шестерней *5*, насаженной на ось маховичка *3*. На торце маховичка нарезаны зубья, которые сцепляются с храповым колесом *4*, жестко связанным с корпусом. При установке стержня держатели раскрывают, вращая маховичок и поднимая вилку, вместе с которой поднимается и ось *9*. После установки стержня вилку снова опускают, и рычаги захватывают стержень. Автоматическое раскрытие держателей производится упором, установленным на верхней части розетки. При подходе розетки ролик поднимает вилку и раскрывает рычаги держателя.

Стержень изолируют микалентой в несколько этапов. После каждого из них стержень проходит компаундирование, что способствует лучшему проникновению компаундной массы между всеми слоями микаленты. Для машин напряжением 15 750 В стержень изолируют микалентой в четыре этапа. Каждая операция компаундирования

сопровождается сбматыванием стержня киперной лентой, выполняемым при обратном ходе каретки изолировочного станка. Поверх последних слоев микаленты лобовые части обматывают стеклолентой. Окончив изолировку, концы стержней загибают на оправке, обрубают по размерам и облуживают.

Для испытания изоляции стержня на пробой его обматывают (в полтора оборота) по всей длине фольгой, которую затем плотно за-

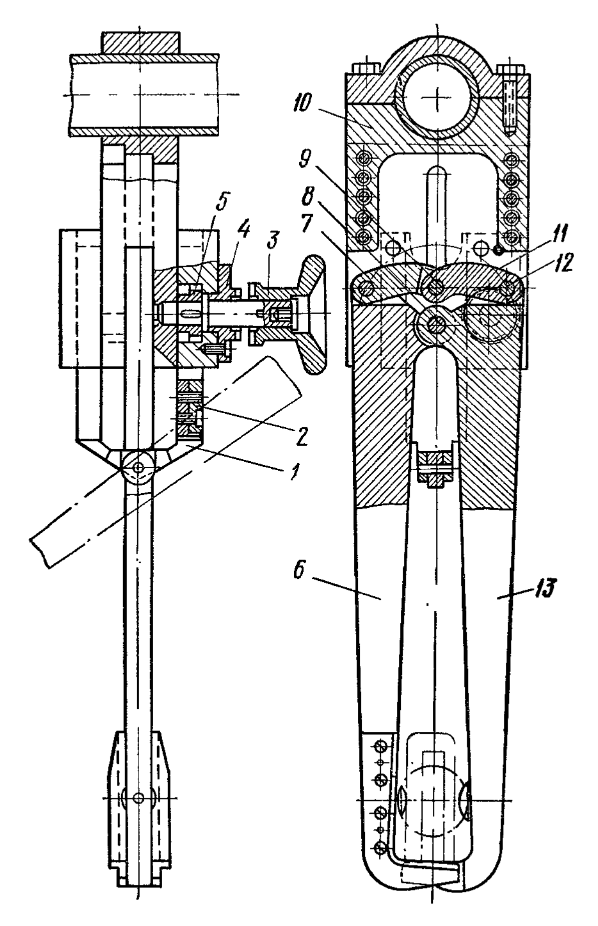


Рис. 40. Стержнедержатель

крепляют киперной лентой. Испытательное напряжение подводят к концам стержня и фольге. Окончив испытания, фольгу и киперную ленту удаляют.

Поверхность обмотки статоров электрических машин напряжением выше 6000 В покрывают полупроводящим лаком 462п с примесью сажи, чтобы устранить явление коронирования. Растворителем явля-

ется толуол. Полупроводящий лак на поверхности лобовых соединений выравнивает электрическое поле в месте выхода обмотки из паза и повышает величину напряжения при котором возникает коронирование. Для покрытия пазовой части применяют лак Л9000 с поверхностным сопротивлением 10^4—10^6 Ом для покрытия лобовых частей — лак Л9001с поверхностным сопротивлением 10^9—10^{11} Ом.

§ 13. СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

В асинхронных электродвигателях большой мощности с фазным ротором применяют стержневые обмотки. Их изготовляют из стержней, согнутых из голых медных шин, изолированных путем обертывания изоляционными материалами. Стержневые обмотки могут быть

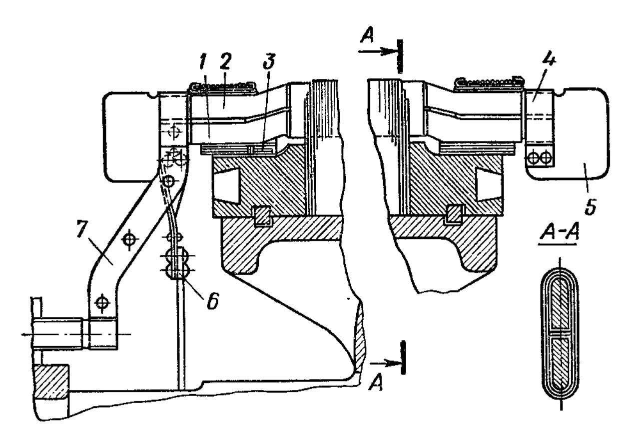


Рис. 41. Ротор со стержневой обмоткой

как волнового, так и петлевого типа. Преимуществом волновых обмоток является меньшее число соединений между катушечными группами.

На рис. 41 показан ротор асинхронного двигателя со стержневой обмоткой. Она состоит из верхних *2* и нижних *1* стержней. Сечение стержня прямоугольное со скругленной гранью. Стержни вставляют в закрытые пазы с торца ротора. Поэтому у них только одна лобовая часть может быть выгнута. Вторую выгибают на роторе после того, как стержни вставлены в пазы. Кроме стержней верхнего и нижнего слоя в обмотке имеются еще перемычки *3*.

Как видно на рисунке, стержни на выходе из паза изогнуты. Выгибание стержней необходимо для того, чтобы бандажи лобовых частей обмотки ротора при сборке двигателя могли пройти через расточку статора. В крупных машинах выгибать стержни не требуется. Стержни верхнего и нижнего слоев соединены хомутиками *4* и спаяны мягкими или твердыми припоями. К некоторым хомутикам припаяны лопатки *5* вентилятора, охлаждающего двигатель при работе. Три стержня

верхнего слоя присоединены к кольцу *6*, замыкающему фазы обмотки в звезду. К трем другим стержням верхнего слоя припаивают пластинки *7* для соединения обмотки с контактными кольцами.

Производство стержневой обмотки начинается с правки и резки заготовок для стержней на специальных станках (см. рис. 8). Затем производят гибку одной лобовой части стержня. На рис. 42 показано приспособление для гибки стержней ротора. Стальной корпус *6* приспособления в верхней части обработан по радиусу поверхности, на которой уложены стержни на роторе. К корпусу привинчены накладки *2* и *3*, между которыми образуется щель на 0,2 мм большая, чем толщина стержня. В эту щель вкладывают прямолинейную заготовку стержня до упора в фаску головки винта *1*. Затем поворотом первого рычага вокруг оси загибают конец стержня, причем сверху он перекрывается выступом рычага. После этого, взяв рукой свободный конец стержня, прижимают его к цилиндрической поверхности корпуса, а другой рукой вращают рычаг, который делает второй изгиб стержня, прижимая его к накладке *3*.

Так, в приспособлении совершается загибка стержня в двух точках и изгиб лобовой части по винтовой линии. Для облегчения выемки стержня из приспособления служит третий рычаг, который поддерживается пружиной *5*, находящейся в колпачке *4*. Этот рычаг находится под накладкой *3*, а конец его с выступом образует продолжение накладки *2*. При отпускании рычага стержень легко вынимается из приспособления. По сравнению с гибкой в тисках это приспособление позволяет получить заготовки стержней с более точными размерами.

В целях механизации гибки стержней применяют гибочные станки с пневматическим приводом (рис. 43). На плите станка закреплены два пневматических цилиндра, из которых один *4* с горизонтальным, а другой *1* с вертикальным ходом поршня. Прямолинейную заготовку *3* стержня вставляют до упора в щель между сухарями штампа. Пуансон перемещается вниз под действием цилиндра *1* и выгибает лобовую часть стержня по заданному радиусу. Другой цилиндр приводит в движение зубчатую рейку *7*, которая вращает коромысло *6*. Коромысло своими штырями поворачивает рычаги *2* и *5* штампа *8*, отгибающего прямолинейные участки стержня.

Затем пуансон и рычаги штампа поворотом ручки воздухораспределительного крана возвращают в исходное положение для гибки следующего стержня. Конструкция гибочного станка предусматривает гибку стержней верхнего и нижнего слоев. Для ограничения хода зубчатой рейки в зависимости от конфигурации стержня и размеров лобовой части служат два упора, закрепленные в плите станка. При переходе к стержням других размеров нужно заменить гибочные штампы. Механизированная гибка заменила ручной труд и значительно повысила производительность труда и качество работы.

После окончания гибки приступают к изолировке стержней. В двигателях единой серии мощностью выше 100 кВт для пазовых гильз роторных стержней применяют стеклоэскапоновую изоляцию, представляющую собой стеклянную ткань, пропитанную и покрытую слоем эскапонового лака. Преимущества стеклоэскапоновой изоляции

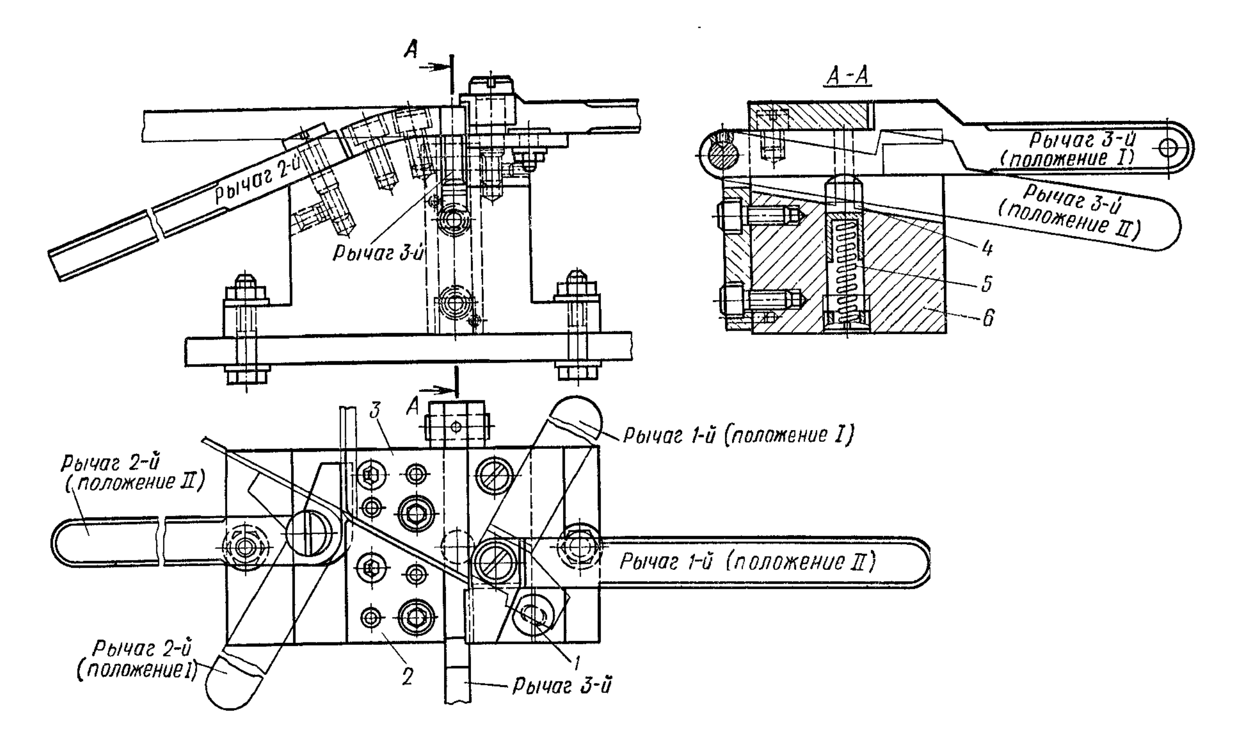


Рис. 42. Приспособление для гибких стержней ротора

перед хлопчатобумажной заключается в повышенной эластичности, влагостойкости, нагревостойкости, механической прочности и стойкости против плесневых грибков. Последнее позволяет использовать машины в тропическом климате.

Пазовую изоляцию стержней подвергают укатке. На рис. 44 показан станок для укатки изоляции стержня. Пазовую часть кладут в углубление утюга *5* с электрическим подогревом, а отогнутую лобовую часть вставляют в отверстие вращающейся планшайбы *4*. Сверху вращающийся стержень прижимается утюгом *3*, который совершает колебательные движения вокруг оси *1*. Для закладки и выемки стержней верхний утюг приподнимают вилкой *2*, приводимой в движение от ножной педали *6*.

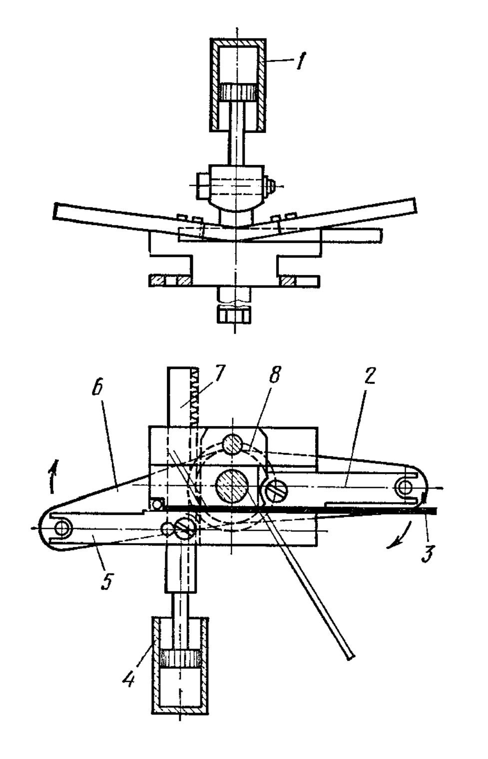


Рис. 43. Гибочный станок с пневматическим приводом

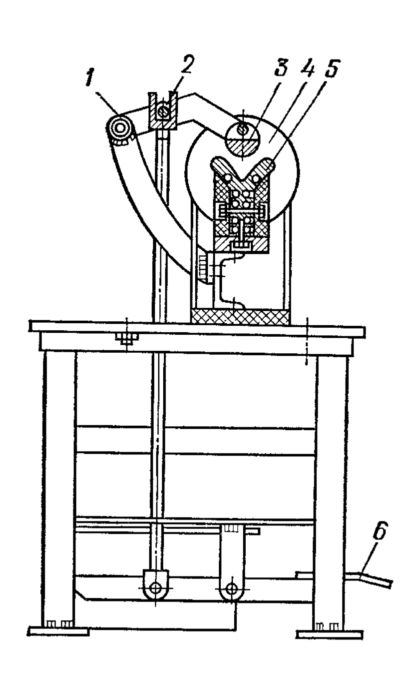


Рис. 44. Станок для укатки изоляции стержня

После укатки пазовые части прессуют в горячих пресс-формах, в которые закладывают по несколько стержней. При нагревании клеящий лак разжижается и растворитель испаряется. Этот процесс называется выпечкой изоляции стержней. Стержни выдерживаются под прессом до остывания.

§ 14. СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Стержневые обмотки якоря отличаются от катушечных тем, что они имеют только один виток. Поэтому их не наматывают на шаблонах, а выгибают в гибочных приспособлениях. При сечении провода до 30 мм^2 применяют обмоточные провода с изоляцией, а при больших сечениях — голые медные шины, которые изолируют после гибки.

Обмотки якоря из медной шины бывают неразрезными (рис. 45, *а*), когда весь виток выгнут из целого провода, и разрезными (рис. 45, *б*), состоящими из полувитков. У разрезных обмоток необходимо паять

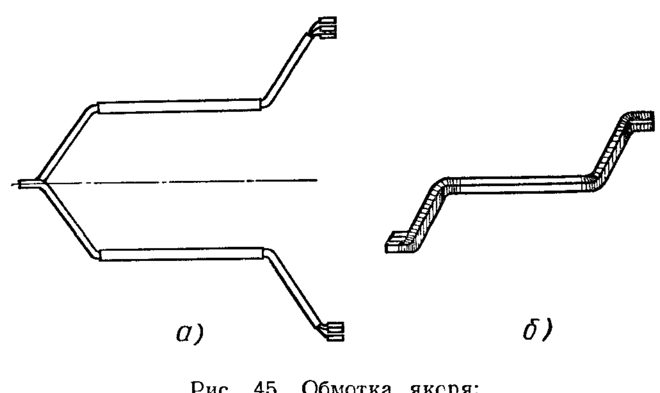


Рис. 45. Обмотка якоря:
а — неразрезная, *б* — разрезная

верхний и нижний слои проводов со стороны, противоположной коллектору, что усложняет процесс обмотки якоря. Поэтому разрезные обмотки применяют только в крупных машинах, у которых неразрезной виток был бы очень громоздким и неудобным для вкладывания в пазы якоря.

У многовитковых катушек обмотки якоря выводные концы выгибают при укладке катушек в пазы. Поэтому одни и те же катушки пригодны как для петлевых, так и для волновых обмоток. Выводные концы стержневых обмоток получают окончательную форму при гибке, ввиду чего для петлевых и волновых обмоток они различны.

Процесс изготовления стержней неразрезной обмотки якоря начинается с резки заготовок по размеру развернутой длины стержня. Затем стержни гнут на ребро в месте образования головки стержня. При этом ветвь петли, лежащей в верхней части паза, должна быть длиннее нижней вследствие разной длины лобовых частей.

Раньше стержни гнули по одному на примитивных гибочных станках. В настоящее время стержни гнут на станках с механическим или пневматическим приводом, которые сразу выгибают комплект стержней, расположенных в одном пазу. Затем выгибают остальные переходы стержня на гибочных приспособлениях; в них стержень гнется плашмя и поэтому со значительно меньшими усилиями.

На рис. 46 показано устройство гибочного станка завода «Динамо» с электрическим силовым приводом и пневматическим зажимом шин. Основанием станка служит квадратный стол 2, на плите 3 которого укреплен горизонтальный пневматический цилиндр 11 для бокового зажима шин. Под крышкой стола расположены электродвигатель 10 с червячным редуктором 8 и вертикальный вал 9 червячной шестерни, на котором на пальце 13 насажен ролик 12. Поворачиваясь, палец гнет шины на ребро при помощи сменного прижимного клина. Клин закладывают между двумя плитами приспособления, из которых нижняя плита 6 укреплена непосредственно на крышке стола, а верхняя 7 — на ввернутых в крышку шарнирах 4. Шарниры регулируются по высоте в зависимости от толщины пакета шин. Верхнюю плиту, а вместе с ней и пакет прижимают винтом 5, отводимым в сторону при подъеме плиты. Расстояние от концов шин до места загиба фиксируют подвижным упором 1.

Для работы на станке набирают пакет шин в количестве, равном числу секций в стержне. Пакет вкладывают до упора в паз, образуемый оправкой с заданным радиусом изгиба головки и сменной подвижной планкой, связанной с горизонтальным пневматическим цилиндром. Затем опускают верхнюю плиту приспособления и при помощи винта с маховиком прижимают ее к оправке и пакету шин. Пакет зажимают пневматическим цилиндром и включают электродвигатель. Червячная шестерня с вертикальным валом приходит во вращение и при помощи пальца с роликом поворачивает клин с пакетом шин на 180°, загибая головку. Когда шестерня возвратится в исходное положение, освобождают вертикальный прижим, откидывают верхнюю плиту и снимают пакет шин. После загибки шин производят остальные операции гибки одновитковых секций.

Если посмотрим на расположение шин в стержневой обмотке (см. рис. 45, *а*), то увидим, что хотя все они имеют одинаковую развернутую длину, расстояния от концов шин до мест изгиба у всех шин разные. Чтобы обеспечить правильное расположение шин на якоре, производят гибку всего пакета одновременно в специальных гибочных приспособлениях. Приспособление для формовки верхних частей стержней (рис. 47) представляет собой макет части якоря. Лобовые части стержней формуют в щелях 3 и 5, образованных между сменными планками приспособления. Пакет проводников, согнутых на ребро, вкладывают в щель приспособления и зажимают головки шин при помощи клина и двух эксцентриков 6 и 7. Затем выгибают пакет рукой и ударами молотка через фибровую прокладку осаживают шины на дно щели 5, формующей лобовую часть. Прижимают пакет к планке 4, которая формует пазовые части стержней. Наконец, выгибают вторую лобовую часть и выводные концы 2, соединяемые с пластинами коллектора. На приспособлении можно выгибать стержни разных типов машин, заменяя сменные планки. Для гибки стержней разной длины можно удлинять или укорачивать пазовые части путем передвигания подвижной части 1 приспособления в овальных пазах основания.

По окончании формовки верхних стержней пакет передают на другое гибочное приспособление для формовки нижних стержней.

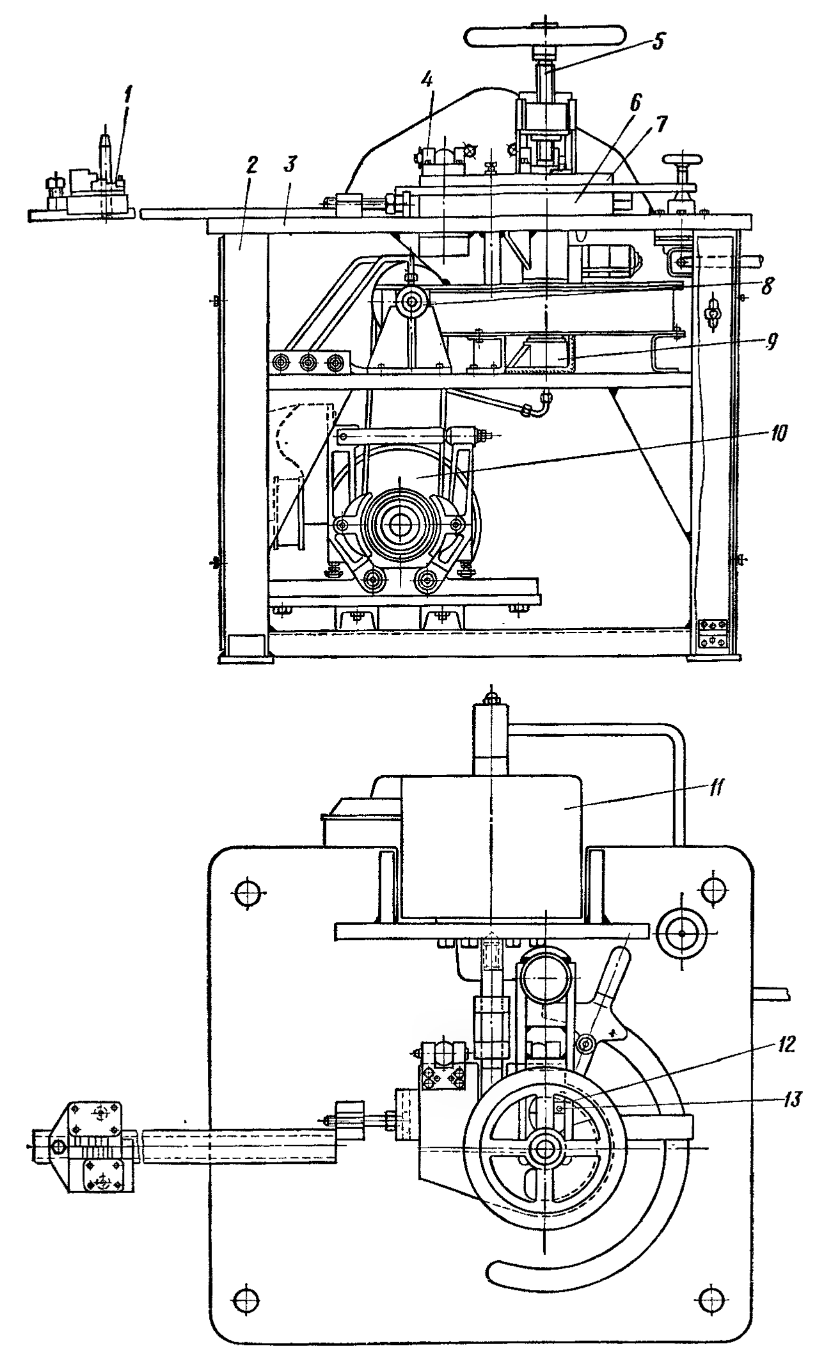


Рис. 46. Станок для гибки якорных стержней

Корпусная изоляция стержневой обмотки обычно гильзовая из бакелизированной бумаги для класса А и микафолия для класса В. Витковая изоляция стержней состоит из микаленты вполнахлеста.

В проводах обмотки якоря протекает переменный ток и поэтому в сечении провода появляются дополнительные потери энергии, ко-

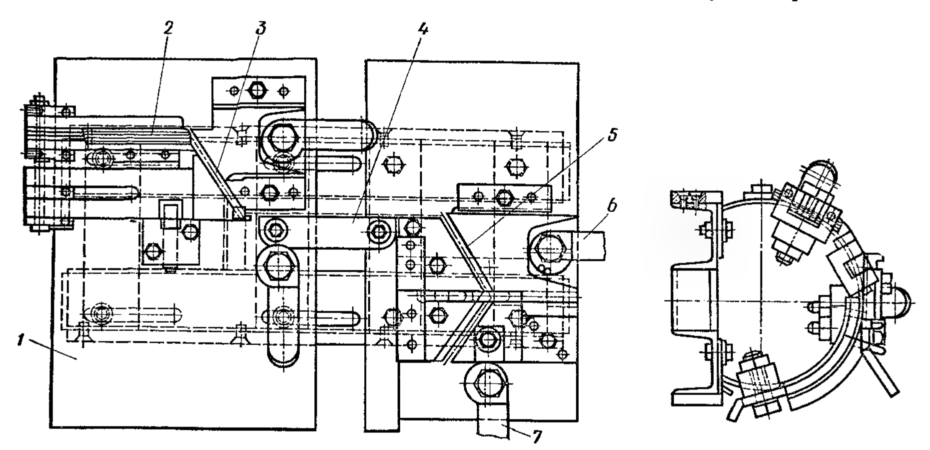


Рис. 47. Приспособления для формовки верхних частей стержней

торые зависят от его высоты. При высоте провода, превышающей так называемую критическую, зависящую от частоты тока в якоре, провод разделяют по высоте на два. На рис. 48 показан разрез паза якоря с одновитковой обмоткой из разделенных проводов *5*. Эти провода, являющиеся параллельными, на разрезе паза условно соединены вертикальными черточками. Обмотки с разделенными проводами особенно трудно гнуть и изолировать. На рисунке показана изоляция из микаленты *6* вокруг каждого провода, микаленты *7* и киперной ленты *8* вокруг составного стержня обмотки. От стенок паза обмотка изолирована пазовой гильзой *9*, а между катушками — электрокартонными прокладками *4*. Изоляция под бандаж *3* состоит из гибкого миканита *1* и электрокартона *2*.

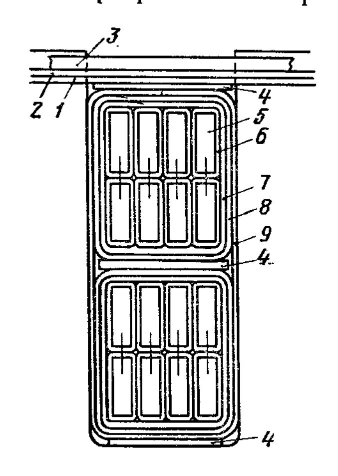


Рис. 48. Разрез паза якоря

Для создания витковой изоляции каждый провод должен быть оплетен микалентой толщиной 0,1 мм в полуперекрышку. Изоляция занимает значительную часть ширины паза. Например, если толщина провода 1,08 мм, а изоляция микалентой на обе стороны 0,4 мм, то на витковую изоляцию приходится $\frac{0,4}{1,08} \cdot 100 = 37\%$ толщины меди.

Между тем напряжение между смежными проводами не превышает 40 В. Для сокращения затрат дорогого изоляционного материала и труда на изолировку иногда изолируют провода через один. При обмотке из разделенных по высоте проводов изолированные провода в пазу располагают в шахматном порядке.

Попытки изолировать соседние провода друг от друга прокладками не увенчались успехом, так как прокладки невозможно удержать по всему периметру провода.

Контрольные вопросы

1. Как устроен стержень обмотки с водяным охлаждением?
2. Для чего делается переплетение проводов?
3. Расскажите об устройстве изолировочного станка.
4. Как производится гибка стержней роторной обмотки?
5. В чем заключаются достоинства стеклоэскапоновой изоляции?
6. Опишите устройство гибочного станка для якорных обмоток.
7. Для чего производят прессовку изоляции стержня?
8. Какие бывают стержни обмотки якоря и где они применяются?
9. Для чего разделяют стержни по высоте в пазу якоря?

ГЛАВА IV. ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ ОБМОТОК

§ 15. ТИПЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Основная масса электроэнергии, потребляемой в народном хозяйстве СССР, вырабатывается на тепловых электростанциях синхронными турбогенераторами, приводимыми во вращение паровыми турбинами. Для лучшего использования паровых турбин турбоагрегаты строят большой мощности при скорости вращения 3000 об/мин. Развиваемые при этом центробежные силы заставляют применять для роторов высоколегированную сталь и выполнять их в виде массивной поковки сердечника ротора с валом. Однако даже применение высокопрочной стали не позволяет увеличить диаметр ротора выше 1150 мм, что приводит к большой длине активной стали, достигающей 6 м. При таком отношении длины к диаметру ротор представляет собой упругую балку и работает за пределами первой критической скорости.

При окружной скорости около 180 м/с потери энергии на трение ротора о воздух превышают половину всех потерь в генераторе. Для снижения потерь все крупные турбогенераторы делают с наполнением внутреннего пространства водородом при давлении 1,05 кгс/см^2. Дальнейшее повышение мощности в одном агрегате требует форсированного охлаждения при давлении водорода внутри машины 3 кгс/см^2. При проектировании сверхмощных турбогенераторов прибегают к непосредственному охлаждению полых проводников обмоток водородом, водой или маслом.

На гидроэлектростанциях устанавливают гидрогенераторы, приводимые во вращение гидравлическими турбинами. Основные типы гидроагрегатов являются вертикальными и работают со скоростями вращения около 100 об/мин. Низкие скорости вращения при больших мощностях приводят к огромным размерам диаметра статора, достигающим 16 м.

Для выработки трехфазного тока стандартной частоты 50 Гц турбогенераторы при скорости вращения 3000 об/мин выполняют двухполюсными, а гидрогенераторы при скорости вращения 100 об/мин имеют 60 полюсов.

Основными потребителями электрической энергии являются асинхронные электродвигатели, которые нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве и в быту. Асинхронные электродвигатели выпускаются заводами электропромышленности в виде серий. *Серией* называется ряд машин возрастающей мощности одинакового конструктивного исполнения. Каждая се-

рия охватывает определенный отрезок мощностей, например, 0,6—100 кВт, 100—1000 кВт и выше 1000 кВт. Каждый отрезок серии содержит несколько габаритов машин, определяемых наружным диаметром статора. Для одного габарита имеется в серии два или три типа машин с разной длиной сердечников статора и ротора. Принцип серийного построения серии дает возможность снизить число разновидностей машин, благодаря чему уменьшается число штампов и приспособлений для их производства.

Кроме асинхронных двигателей общего применения существуют специализированные серии, например крановые двигатели, предназначенные для установки на электрических кранах и других грузоподъемных механизмах; взрывозащищенные электродвигатели для угольных шахт и взрывоопасных отраслей производства и др.

Асинхронные двигатели просты по устройству и обслуживанию, но они потребляют из сети отстающий по фазе намагничивающий ток и снижают коэффициент мощности энергетических систем. Поэтому в тех случаях, когда скорость вращения ротора может быть постоянной, применяют синхронные двигатели. Они сложнее, чем асинхронные, и требуют источника постоянного тока для возбуждения. Ценным свойством синхронных двигателей является то, что они могут при определенных условиях отдавать в сеть опережающий емкостный ток и тем способствуют повышению коэффициента мощности в энергосистемах.

Машины постоянного тока выпускаются в качестве генераторов и двигателей. Генераторы применяют для зарядки аккумуляторов, ванн для гальванических покрытий, сварки на постоянном токе и других целей, а также для питания двигателей постоянного тока. Ценным свойством двигателей постоянного тока является плавная регулировка скорости вращения в широких пределах. Поэтому их применяют в механизмах металлургического производства и для электрической тяги в вагонах трамвая, метро и электрических железных дорог. Машины постоянного тока являются самыми сложными по устройству и поэтому их стараются, где это возможно, заменять выпрямителями переменного тока и асинхронными двигателями.

§ 16. ЧЕРТЕЖИ ОБМОТОК

Для выполнения всякого объекта производства необходимы чертежи. На них указывают размеры деталей, точность их механической обработки, режим термической обработки, род защитных покрытий и способы соединения деталей в сборочные единицы и готовое изделие.

Для обмоточного производства необходимы чертежи отдельных элементов обмотки, например катушек обмотки статора, ротора или якоря, полюсных катушек и других элементов. На сборочных чертежах показывают укладку обмоток в пазы, изоляцию обмоток от корпуса, крепление катушек на полюсах, соединения между катушками и крепление обмоток в пазах и на лобовых частях.

В обмоточном производстве встречаются детали, которые применяются во многих обмотках, например кабельные наконечники, хомути-

ки для соединения катушек и стержней обмотки, пазовые клинья и т.п. Чтобы не делать для каждой машины чертежи таких деталей, их изготовляют по нормалям; запас таких деталей всегда имеется в цеховых кладовых. Составляют нормали и на сборочные соединения, такие как изолировка стержней и катушек, пазовые гильзы, бандажи для крепления обмоток в пазах и на лобовых частях. Чтобы не повторять на каждом чертеже различные требования по выполнению обмоточных операций, составляют производственные предписания и инструкции.

До последнего времени отдельные ведомства или заводы имели свои системы чертежей. Поэтому при передаче производства какой-либо машины с одного завода на другой приходилось снова выполнять чертежи по другой системе. На это расходовалось много времени и задерживались темпы производства. С 1 января 1971 г. в СССР введена Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Применительно к конструкторской документации установлены виды изделий и их составных частей. Под изделием понимают любой отдельно взятый предмет производства (электрическая машина, коллектор, вал, катушка обмотки и т. п.).

Деталями называют изделия, изготовленные без применения сборочных операций. При описании конструкции изделия можно применять обобщающее понятие «составные части изделия», подразумевая под ними входящие в данное изделие сборочные единицы и детали.

Согласно ЕСКД изменяются и изображения на чертежах и рисунках, например: резьба изображается тонкой сплошной линией; упрощены изображения (изъяты линии, показывающие мелкие подробности а также зазоры в соединениях крепежными деталями). Если задачей чертежа является показ приспособления, то соответствующее изделие может быть изображено тонкими сплошными линиями. Элементы (отверстия, канавки и др.) составных частей изделия обозначают буквами, а не цифрами. Размеры пишутся над размерной линией, а не в разрыве ее. Стрелки у секущей плоскости должны упираться в линию, обозначающую след секущей плоскости.

Чертежи обмоток в основном выполняют по общим правилам прямоугольного проектирования, однако в них имеются некоторые особенности, которые надо знать, чтобы правильно читать и понимать их. Так, например, на разрезах пазов, которые всегда выполняют в увеличенном масштабе, для упрощения вычерчивания окружность статора или ротора изображают отрезком прямой линии. Контур паза обводят линией вырыва. Ввиду того что толщина изоляции мала по сравнению с размерами медных шин, слои изоляции не разделяют линиями, а изоляцию зачерняют, причем между линиями контура паза и обмоткой оставляют просветы. Линиями отделяют только различные изоляционные материалы, и то лишь в чертежах, начерченных в крупном масштабе. Число слоев изоляции на чертежах указывают словами. В обмотках с большим числом тонких проводников разрезы обмотки штрихуют в виде прямой частой сетки. При небольшом числе проводов в разрезах указывают их расположение. Имеются и другие особенности, которые будут рассмотрены при разборе чертежей.

В качестве примера рассмотрим чертеж катушки обмотки якоря машины постоянного тока (рис. 49). На чертеже есть все размеры, необходимые для изготовления намоточного шаблона и укладки катушки в пазы, а выводных концов — в петушки коллектора. На чертеже показаны четыре изображения катушки: в середине чертежа — вид на катушку сверху, на правом изображении — вид на торец катушки со

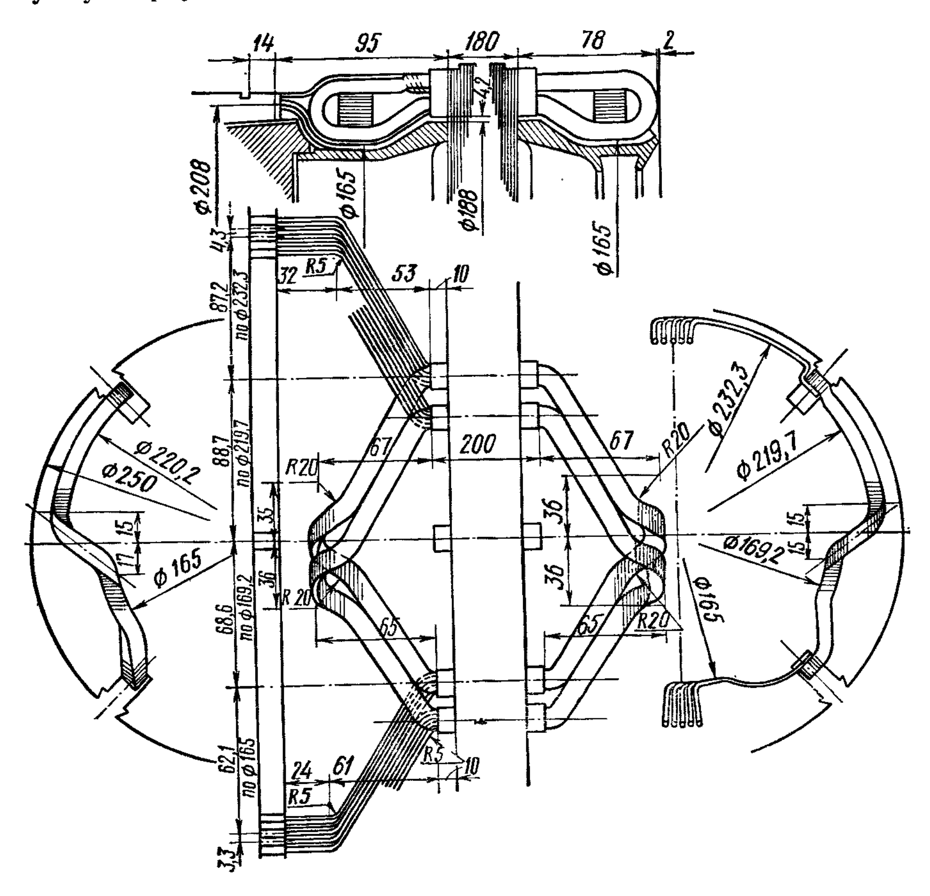


Рис. 49. Чертеж катушки обмотки якоря

стороны коллектора, на левом — вид со стороны, противоположной коллектору, и вверху — продольный разрез якоря с уложенной на нем обмоткой. Это катушка двухслойной обмотки, так как стороны ее занимают половину паза.

Обычно на каждом заводе все обмотки выполняют с одинаковым расположением сторон катушек в пазах. Благодаря этому унифицируются намоточные шаблоны и растяжные приспособления, а также значительно повышается производительность труда обмотчиков, так как у них вырабатываются рациональные приемы работы. Как видно на

чертеже у этой обмотки, если смотреть со стороны коллектора, правая сторона катушки лежит на дне паза, а левая — в верхней части паза. Следует отметить, что расположение сторон катушек в пазах ничего общего не имеет с понятием правых и левых обмоток якоря.

Показанные на чертеже размеры развернутой катушки рассчитаны по формулам, которые были приведены в § 7. По этим размерам строится намоточный шаблон.

Головки катушки направлены не по радиусу якоря, а скошены. Это позволяет уменьшить длину лобовых частей и сэкономить расход обмоточного провода, а также упростить конструкцию станка для растяжки катушек. Между слоями лобовых частей на верхнем изображении показаны полоски электрокартона, которые вкладывают при обмотке якоря. Это делают для того, чтобы лобовые части не прогибались при намотке бандажей.

На рис. 50 показан чертеж обмотанного статора и спецификация асинхронного двигателя типа АО десятого габарита. Чтобы уменьшить число чертежей в производстве, на этом чертеже показана укладка обмоток всех трех двигателей данного габарита. Они имеют одинаковые диаметральные размеры, но длины у них разные. Поэтому под изображением обмотки дана таблица из трех строк. Каждая строка соответствует одному типу двигателя.

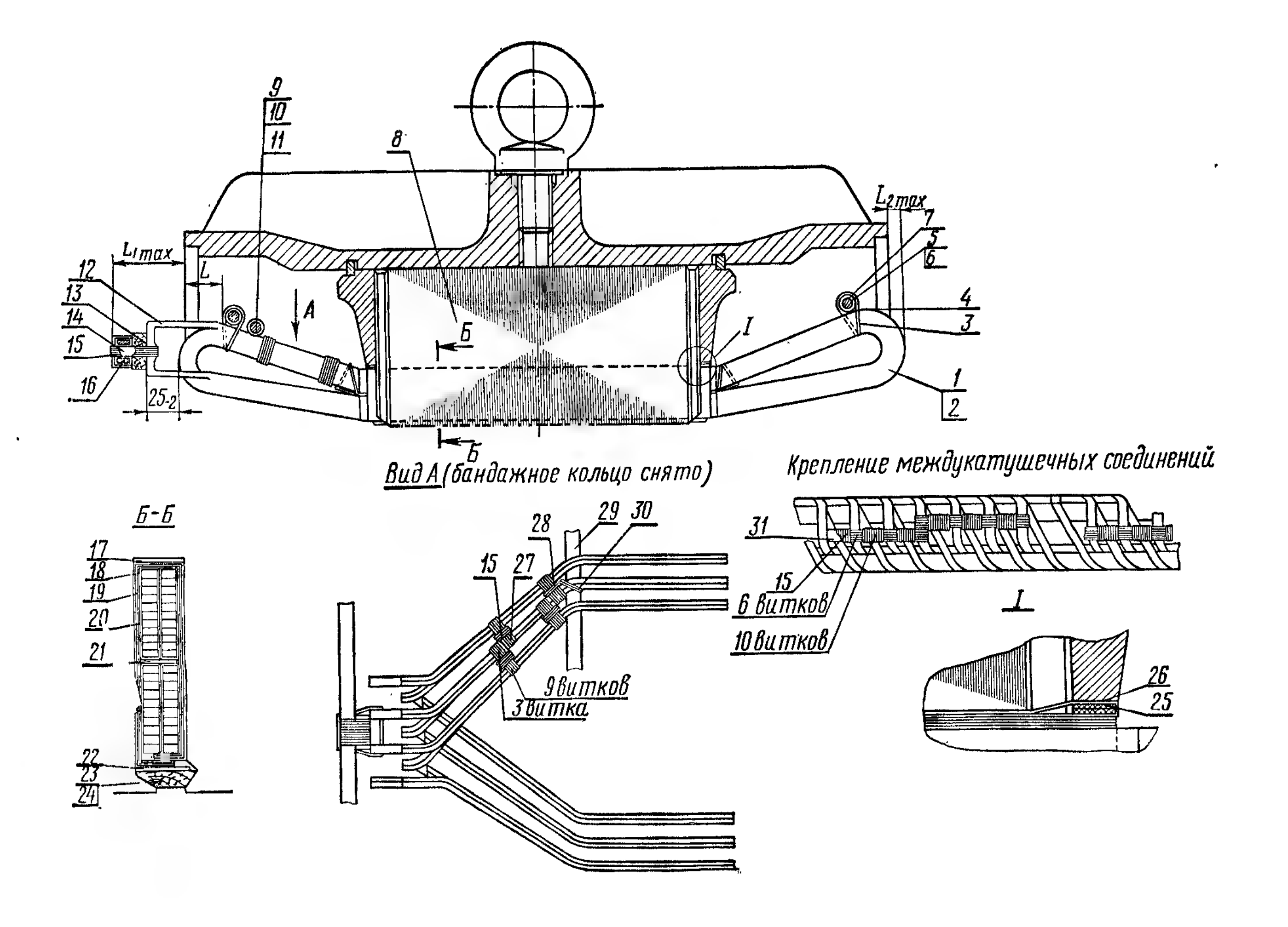
Всякий сборочный чертеж должен иметь спецификацию, которая раньше помещалась в правом нижнем углу чертежа. Согласно ЕСКД спецификации составляют на отдельных бланках. Форма и содержание спецификации показаны на рис. 50. При чтении чертежа находят ту или иную позицию на чертеже, смотрят в соответствующую номеру позиции строку спецификации, а если в ней имеется ссылка на таблицу, то в соответствующую строку таблицы.

Приведем несколько примеров пользования чертежом и спецификацией. На чертеже (рис. 50) показан продольный разрез статора с уложенной обмоткой. Условной штриховкой обозначено, что сердечник статора собран из штампованных листов. На чертеже отсутствуют размеры статора, так как на обмотку поступает готовый необмотанный статор, обозначенный поз. *8*. В спецификации в графе «обозначение» написано: см. табл. Это сделано потому, что для трех двигателей статоры разные по длине. В таблице написано, что для двигателя типа АО101-2 надо взять статор по чертежу 672. 030, для двигателя типа АО102-2— по чертежу 5БА. 672. 031, 5БА, а для двигателя типа АО103-2 — по чертежу 5БА. 672. 032.

На чертеже бандажное кольцо обозначено поз. *7*. В спецификации поз. *7* соответствует обозначение чертежа кольца 5БН. 217. 585. Ссылки на таблицу нет, так как для всех трех статоров применяют одни и те же кольца.

Кроме продольного разреза на чертеже дан вид на лобовые части обмотки (вид А) со снятым бандажным кольцом. Справа показано крепление междукатушечных соединений. Кроме этих изображений на чертеже имеется разрез паза и изображение выхода паза, обозначенное *1*.

На разрезе паза поставлены две позиции пазовых клиньев *23* и *24*.



Вид А (бандажное кольцо снято)
Крепление междукатушечных соединений
Б-Б
I
А
Б
L_1max
L_2max
L
25-2
6 витков
10 витков
9 витков
3 витка
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31

Обозначение	Тип	Поз. 1	Поз. 2	Поз. 8	Поз. 9	Поз. 10	Поз. 11	Поз. 17	Поз. 18	Поз. 19	Поз. 20	Поз. 21	Поз. 22	Поз. 23	Поз. 24		L	$L_{1макс}$	$L_{2макс}$	Сопротивление фазы при 15°С, Ом	Масса, кг
		Обозначение	Обозначение	Обозначение	Обозначение	Обозначение	Обозначение	Размеры	Размеры	Размеры	Размеры	Размеры	Размеры	Обозначение	Обозначение	Кол					
5БА.670.122	А0101-2	5БА.524.340	5БА.524.337	5БА.672.030	5БА.500.035	5БА.500.036	5БА.500.037	0,5×10,7×260	0,2×130×260	0,2×130×260	0,2×150×260	$1\times9{,}7_{-0{,}3}\times320$	0,2×10×260	—	8БА.783.073	96	62	40	12	0,0238	819
5БА.670.123	А0102-2	5БА.524.341	5БА.524.338	5БА.672.031	5БА.500.035	5БА.500.036	5БА.500.037	1×10,7×315	0,2×130×315	0,2×130×315	0,2×150×315	$1\times9{,}7_{-0{,}3}\times375$	1×10×315	8БН.783.073	8БА.783.075	48	34	65	15	0,0191	887
5БА.670.124	А0103-2	5БА.524.342	5БА.524.339	5БА.672.032	5БА.500.038	5БА.500.039	5БА.500.040	1×10,7×380	0,2×130×380	0,2×130×380	0,2×150×380	$1\times9{,}7_{-0{,}3}\times440$	1×10×380	—	8БА.783.075	96	5	97	48	0,0136	974

N поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	См. табл.	Катушка	6	
2	См. табл.	Катушка	42	
3		Шнур льно-пеньковый ЛК	80м	
4		Картон ЭВ	2	
5		Лента стеклянная	43м	
6		Стеклолакоткань	30м	
7	8БН.217.585	Кольцо бандажное	2	
8	См. табл.	Статор необмотанный	1	
9	См. табл.	Кабель	2	
10	См. табл.	Кабель	2	
11	См. табл.	Кабель	2	
12		Стеклолакоткань	30м	
13	8БН.760.021	Прокладка изолирующая	9	
14	8БН.760.006	Прокладка изолирующая	9	
15		Шнур льно-пеньковый ЛК	290м	

N поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
16		Проволока медная МГМ	3м	
17		Картон ЭВ (размеры см. в табл.)	48	
18		Картон ЭВ (размеры см. в табл.)	48	
19		Миканит гибкий (размеры см. в табл.)	48	
20		Картон ЭВ (размеры см. в табл.)	48	
21		Миканит прокладочный (размеры см. в табл.)	48	
22		Картон ЭВ (размеры см. в табл.)	48	
23	См. табл.	Клин пазовый	48	
24	См. табл.	Клин пазовый	См. табл.	
25		Картон ЭВ	6	
26		Картон ЭВ	6	
27	8БА.155.016	Прокладка	96	
28	8БА.155.015	Прокладка	96	
29		Миканит прокладочный	2	
30		Нитки кордовые	2,5м	

Рис. 50. Чертеж обмотанного статора и спецификация

В каждый паз забивают по два клина. Из таблицы видно, что на три длины статора имеется две длины клиньев. У короткого статора забивают в паз два коротких клина, у длинного—два длинных, а у среднего — один короткий и один длинный.

Статоры всех трех двигателей этого габарита имеют по 48 пазов. При двухслойной обмотке для статора требуется 48 катушек. Между тем в спецификации указано: 6 катушек в поз. *1* и 42 катушки в поз. *2*. Это сделано потому, что крайние катушки фаз отличаются от остальных выводными концами и имеют свои обозначения.

В спецификации для каждой позиции указан номер чертежа детали или сборочной единицы и их название. Если же на эту позицию нет чертежа, то в спецификации в графе «Наименование» приведены материал детали, ее размеры и номер ГОСТа на данный материал. Это позволяет точно подсчитать расход материала на один двигатель и определить его заводскую себестоимость.

§ 17. СХЕМЫ ОБМОТОК

На чертежах можно изобразить только отдельные части обмоток, например катушки, их укладку в пазы и укладку лобовых частей на обмоткодержателях. Для соединений между элементами обмоток и обмоток с выводными зажимами служат схемы. Существует много различных типов схем, которые будут рассмотрены в последующих главах.

Схемы могут быть торцовыми и развернутыми. На торцовых схемах пазы сердечников изображают кружками с вписанными в них номерами пазов. Эти кружки располагают равномерно по окружности и такие схемы представляют собой вид на торец сердечника обычно со стороны коллектора для машин постоянного тока или со стороны выводов для машин переменного тока. Развернутые схемы представляют собой развернутую окружность статора, ротора или якоря, на которой пазы изображены линиями; в разрывах линий помещают номера пазов.

При большом числе пазов схемы получаются очень сложными и на них трудно проследить соединения между отдельными катушками. Поэтому широко применяются упрощенные схемы обмоток, на которых условными обозначениями изображаются не все катушки, а лишь катушечные группы обмоток. Кроме схем, применяют таблицы обмоток, на которых нет никаких изображений, а в определенной последовательности нанесены номера пазов в таком порядке, в каком производится соединение катушек.

На схемах обмоток допускается много различных условностей. Например, если катушка намотана в несколько витков, на схеме ее изображают в виде замкнутой фигуры, напоминающей по форме катушку, от которой ответвляются только выводы. Схемы изображают без масштабов в одной проекции.

Обозначения выводов обмоток, идущих на дощечку зажимов, установлены ГОСТ 183—66 и приведены в табл. 2, 3, 4 и 5.

Таблица 2

Выводы обмоток машин постоянного тока

Название обмотки	Обозначение выводов	
	начало	конец
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	01; 03	02; 04

Таблица 3

Выводы обмоток статора трехфазных машин

Схема соединений обмоток	Число выводов	Название выводов	Обозначение выводов	
			начало	конец
Открытая схема	6	Первая фаза	С1	С4
		Вторая »	С2	С5
		Третья »	С3	С6
Соединение в звезду	3 или 4	Первая »	С1	
		Вторая »	С2	
		Третья »	С3	
		Нулевая точка	0	
Соединение в треугольник	3	Первый зажим	С1	
		Второй «	С2	
		Третий »	С3	

Таблица 4

Выводы обмоток ротора трехфазных асинхронных двигателей

Число выводов на контактных кольцах	Названия выводов	Обозначения выводов
3	Первая фаза	Р1
	Вторая »	Р2
	Третья »	Р3
4	Первая фаза	Р1
	Вторая »	Р2
	Третья »	Р3
	Нулевая точка	0

Примечание. Контактные кольца роторов асинхронных двигателей трехфазного тока должны обозначаться теми же буквами, что и присоединенные к ним выводы обмотки ротора. При этом кольца следует располагать в порядке указанных букв, а кольцо Р1 должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора. Обозначение самих колец буквами не обязательно.

Таблица 5

Выводы обмоток однофазных машин

Название обмотки	Число выводов	Обозначение выводов	
		начало	конец
Обмотка статора (якоря) синхронных машин	2	С1	С2
Обмотка статора асинхронных двигателей:			
главная	2	С1	С2
пусковая	2	П1	П2
Обмотка возбуждения (индукторов) синхронных машин	2	И1	И2

Выводы обмоток асинхронных трехфазных многоскоростных двигателей обозначают теми же буквами, что и выводы обмоток односкоростных двигателей, но перед прописными буквами указывают число полюсов обмотки для данной схемы включения. Например: число полюсов 4, обозначение выводов 4С1, 4С2, 4С3.

Для двухслойных обмоток машин переменного тока в заводской практике пользуются упрощенными схемами, которые рассматриваются в § 31. В крупных машинах при большом числе пазов и упрощенные схемы сложны для пользования, так как в них много пересекающихся соединений. Особенно усложняются схемы обмоток, если в них есть параллельные ветви. Поэтому на электромашиностроительных заводах распространены обмоточные таблицы.

В таблицах нет изображений обмотки, а номера соединяемых проводов или пазов, в которых провода расположены, обозначены числами, написанными через тире. Поскольку таблицы лишены наглядности, по ним нельзя изучать разные типы обмоток. Пользоваться таблицами, а тем более составлять их можно, только изучив правила соединений проводов данного типа обмотки. Составление обмоточных таблиц для обмоток разных типов разобрано в § 31, 49 и 58.

Научить разбираться в схемах обмоток — задача теоретического обучения обмотчиков электрических машин. Поэтому в следующих главах приводятся подробный разбор общих правил построения схем и примеры их выполнения для различных типов обмоток. В целях лучшего усвоения схем рекомендуется не только рассматривать готовые схемы, но и вычерчивать их самостоятельно.

Почти все асинхронные двигатели выпускаются на два напряжения трехфазной сети, например 127/220 или 220/380 В. Такие двигатели всегда имеют шесть выводов от обмотки статора, из которых три являются началами, а другие три — концами фаз. Обычно все шесть выводов присоединяют к зажимам на специальной дощечке или выводят гибкими проводами с резиновой изоляцией, на которые надевают бирки с обозначениями выводов согласно ГОСТ 183—66.

Чтобы присоединить обмотку к трехфазной сети, надо шесть, выводов обмотки соединить в звезду или треугольник. Соединение фаз об-

мотки зависит от напряжения сети. Например, если двигатель изготовлен на напряжение 220/380 В, то для присоединения к сети напряжением 220 В, фазы обмотки должны быть соединены в треугольник

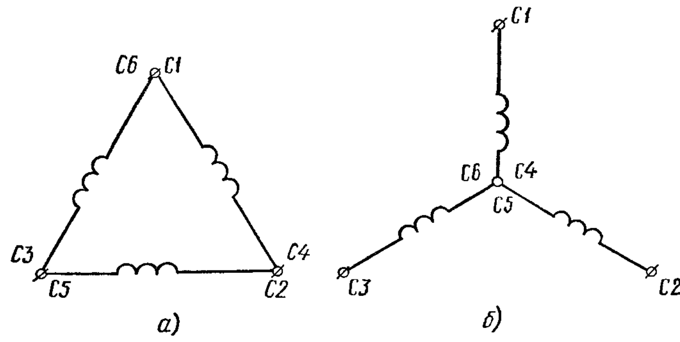


Рис. 51. Соединение фаз трехфазной обмотки:
а — в треугольник, *б* — в звезду

(рис. 51, *а*). Тогда на зажимах фазы обмотки будет напряжение 220 В, как в линии. Если же двигатель должен быть присоединен к трехфазной сети напряжением 380 В, то фазы обмотки должны быть соединены в звезду (рис. 51, *б*). При этом напряжение на зажимах фазы обмотки будет 380:1,73 = 220 В, т. е. напряжение фазы обмотки сохранится прежним.

Переключение обмотки со звезды на треугольник производится путем перестановки перемычек между контактными болтами на дощечке зажимов. На рис. 52 показано положение перемычек при соединении схемы обмотки в треугольник и звезду. При этом концы фаз подключены к контактным болтам в порядке следования номеров фаз, а начала фаз передвинуты так, что над концом третьей фазы расположено начало первой, над концом второй — начало третьей и над концом первой — начало второй фазы.

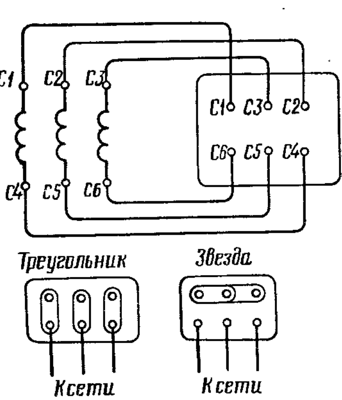


Рис. 52. Положение перемычек на дощечке зажимов при соединении схемы обмотки в треугольник и звезду

Контрольные вопросы

1. Какие типы асинхронных двигателей выпускают?
2. Какие изображения дают на чертеже катушки якоря?
3. Как надо пользоваться спецификацией чертежа?
4. Почему на чертеже статора (см. рис. 50) помещена таблица?
5. Что называется катушечной группой?
6. Какими буквами и цифрами обозначают выводы обмотки?
7. Для чего производят переключение обмотки на дощечке зажимов?

ГЛАВА V. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ В ПАЗЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

§ 18. ТИПЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Однослойными называются обмотки, у которых весь паз занимает сторона одной катушки. К однослойным обмоткам относятся:

концентрическая трехфазная двухплоскостная и трехплоскостная;

равнокатушечная трехфазная (простая, «вразвалку», цепная).

Концентрическую трехфазную обмотку можно назвать родоначальницей всех обмоток машин переменного тока, так как до 30-х годов она имела почти исключительное применение в диапазоне мощностей от 1 кВт до десятков тысяч киловатт. С концентрическими обмотками статора и ротора выпускали как низковольтные, так и высоковольтные машины. В то время почти все машины переменного тока имели пазы закрытой формы, поэтому технология выполнения и укладки обмоток была очень сложной. В эксплуатации есть еще много машин с концентрическими обмотками, которые периодически попадают на заводы для ремонта.

В 30-х годах концентрические обмотки крупных машин были почти полностью заменены двухслойными с укороченным шагом. Концентрические обмотки сохранились только в роторах асинхронных двигателей малой мощности, так как обмотки ротора выполняют без укорочения шага. Однако при разработке единой серии асинхронных двигателей в 3, 4 и 5-м габаритах опять вернулись к концентрическим обмоткам. Это объясняется тем, что для двигателей массового производства они выгоднее, чем двухслойные обмотки, в отношении как лучшего заполнения паза, так и технологии укладки в полузакрытые пазы. Для однослойных обмоток имеются полуавтоматические обмоточные станки.

Равнокатушечными называют обмотки, состоящие из катушек с одинаковым шагом. Такие обмотки разработаны для машин малой мощности с полузакрытыми пазами. При малом числе полюсов катушечные группы слишком громоздкие и для их разгрузки применяют равнокатушечные обмотки «вразвалку», у которых число катушек в группе вдвое меньше. Цепные обмотки являются разновидностью равнокатушечных с несколько более удобной укладкой лобовых частей.

§ 19. СХЕМЫ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

Трехфазная концентрическая обмотка состоит из катушек, стороны которых расположены в пазах так, что катушки концентрически охватывают одна другую. Для изображения обмотки применяют два вида схем: развернутая (рис. 53) и торцовая (круговая, рис. 54).

На развернутой схеме хорошо видны и провода, лежащие в пазах, и лобовые соединения с обеих сторон статора. Некоторое затруднение для чтения развернутой схемы заключается в том, что начало и конец развертки, которые на статоре лежат рядом, на развернутой схеме получаются удаленными друг от друга на всю длину схемы, а соединения лобовых частей обмотки оказываются при этом разрезанными. При чтении схемы приходится мысленно прослеживать соединения от конца схемы к ее началу подобно тому, как при чтении книги переходят от конца одной строки к началу следующей. При составлении схемы надо выбрать место разреза таким образом, чтобы наименьшее количество лобовых соединений оказалось разрезанным и чтобы линия разреза катушки располагалась симметрично.

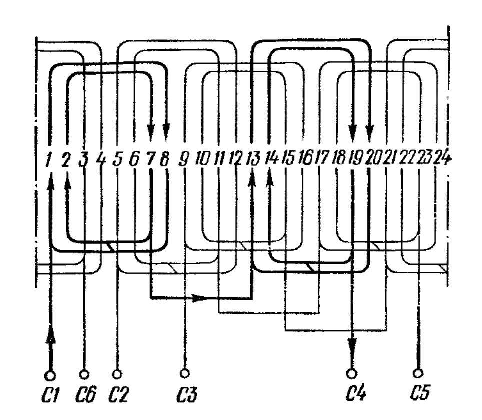


Рис. 53. Развернутая схема концентрической обмотки

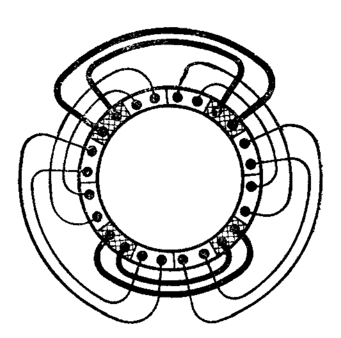


Рис. 54. Торцовая схема концентрической обмотки

Торцовая схема представляет собой вид на статор с торца. В круговой схеме наглядно показано расположение катушечных групп на статоре.

Для составления схемы обмотки надо знать схему соединения фаз и следующие величины:

z — число пазов статора или ротора; $2p$ — число полюсов; m — число фаз; y_z — шаг обмотки по пазам; q — число пазов на полюс и фазу; a — число параллельных ветвей обмотки.

Число пазов статора трехфазной машины не может быть произвольным. Оно выражается формулой

$$z = 2pmq. \quad (1)$$

Этой формулой следует пользоваться при расчетах обмоток машин переменного тока. Число пазов на полюс и фазу может быть не только целым, но и дробным (см. § 30).

Шаг обмотки по пазам определяют по формуле

$$y_z = \frac{z}{2p}. \quad (2)$$

Так, например, на схеме четырехполюсной обмотки, показанной на рис. 53,

$$y_z = \frac{24}{4} = 6.$$

Как видно на схемах концентрических обмоток, у катушек одной катушечной группы шаги разные. Для первой катушечной группы шаги обмотки выражаются следующими числами: 8—1 = 7; 7—2 = 5. Расчетная величина шага является средней арифметической между шагами отдельных катушек. Действительно

$$y_z = \frac{5+7}{2} = 6.$$

Если на схеме или чертеже будет указано, что шаг обмотки по пазам равен 6, то это может быть понято неправильно. Неопытный обмотчик может подумать, что если одна сторона катушки лежит в 1-м пазу, то вторую ее сторону надо положить в 6-й паз. Чтобы не было таких недоразумений, обычно на схемах и чертежах шаг обмотки указывают двумя числами, показывающими номера пазов, в которых лежат стороны катушки. Поэтому вместо $y_z = 6$ пишут: шаг обмотки 1—7. Это читают так: шаг обмотки из первого паза в седьмой.

Число пазов на полюс и фазу можно определить по формуле

$$q = \frac{z}{2pm}. \quad (3)$$

Для обмотки, схема которой показана на рис. 53,

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

В концентрических обмотках число пазов на полюс и фазу видно на схеме. Это число катушек в катушечной группе. В статорах машин трехфазного тока нет явно выраженных полюсов, как в машинах постоянного тока, однако в концентрической обмотке число полюсов можно легко определить по внешнему виду обмотки. Это связано с тем, что в трехфазной двухполюсной обмотке катушки трех фаз образуют два полюса — северный и южный.

Исходя из этого, можно установить зависимость между числом катушечных групп k и числом полюсов $2p$. Очевидно, что на каждые три катушечные группы приходится два полюса, следовательно, число полюсов составляет две трети от числа катушечных групп, или, дру-

гими словами, число катушечных групп в полтора раза больше числа полюсов. Формулы это выражают так:

$$2p = 2/3k; \qquad (4)$$

$$k = 3p. \qquad (5)$$

Как видно на схеме (см. рис. 53), обмотка имеет шесть катушечных групп. Следовательно, в этой обмотке

$$2p = \frac{2 \cdot 6}{3} = 4.$$

Катушечные группы в фазе соединены последовательно, значит число параллельных ветвей a в фазе равно 1.

Из формулы (5) видно, что при четном числе пар полюсов число катушечных групп получается также четное. Значит их можно разделить поровну на два вида — катушечные группы с длинными лобовыми частями и катушечные группы с короткими лобовыми частями, расположенные в двух плоскостях (двухплоскостная обмотка).

Катушечные группы концентрических обмоток из круглого провода наматывают на ступенчатый шаблон (см. рис. 11), который имеет столько желобков, сколько катушек в катушечной группе.

Число пар полюсов может быть и нечетным. Например: число пазов z равно 36, число полюсов $2p$ составляет 6. Для этой обмотки число катушечных групп по формуле (5)

$$k = 3p = 3 \cdot 3 = 9.$$

При нечетном числе катушечных групп одна из них получается с перекошенными лобовыми частями. Выполнение такой группы не представляет больших трудностей в обмотках из круглого провода. Но при жестких катушках эту группу нужно изготовлять на специальном шаблоне. Если такую обмотку применяют в роторе, то вследствие неодинаковой массы лобовых частей ротор при вращении вибрирует и его трудно балансировать.

В машинах с жесткими катушками следует избегать применения перекошенных катушек. Этого можно добиться, искусственно увеличив число катушечных групп. Разберем такой пример. Имеется обмотка со следующими техническими данными: $z = 24$, $2p = 2$ и $q = 4$. Число групп у такой обмотки $k = 3p = 3$. Так как число катушечных групп нечетное, то одна группа получится с перекошенными лобовыми частями. Но можно схему обмотки построить иначе.

Разделим каждую катушечную группу на две (рис. 55), направляя лобовые части каждой ее половины в противоположные стороны. Тогда получим трехплоскостную обмотку, у которой каждая катушечная группа будет состоять из двух катушек, а число групп при этом удвоится. К трехплоскостным обмоткам прибегают иногда и при четном числе катушечных групп, чтобы упростить укладку лобовых частей. Трехплоскостная обмотка имеет следующие преимущества перед двухплоскостной: отсутствие катушечных групп с перекошенными лобовы-

ми частями и более простые катушечные группы. Недостаток ее заключается в неодинаковой длине отдельных фаз.

Сравнивая схемы, приведенные на рис. 67 и 70, видим, что у двухплоскостной обмотки в каждой фазе одинаковое число длинных и коротких катушек. Таким образом, развернутые длины всех фаз, а следовательно, их сопротивления одинаковы. У трехплоскостной обмотки первая фаза состоит из коротких катушек, вторая — из средних, третья — из длинных. Поэтому сопротивления фаз будут различными, что вносит несимметрию в обмотку.

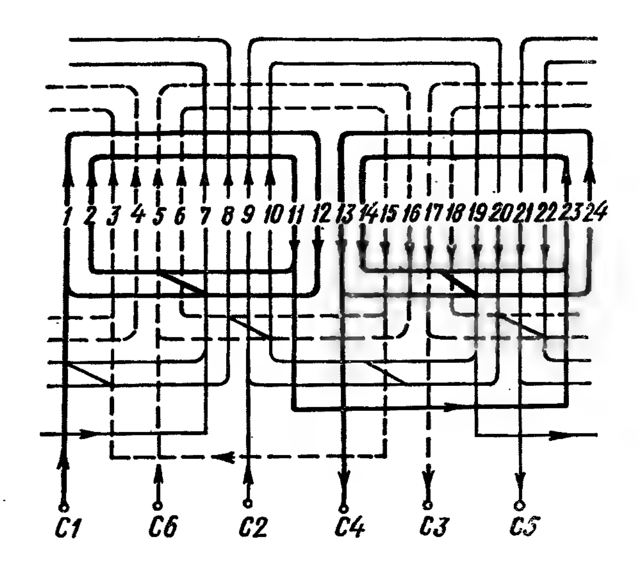


Рис. 55. Схема трехплоскостной обмотки

§ 20. СОЕДИНЕНИЕ КАТУШЕЧНЫХ ГРУПП В ФАЗАХ

После укладки обмотки в пазы приступают к соединению катушечных групп в фазах. Для этого от каждой группы выводят два вывода — ее начало и конец. Таким образом, общее число выводов в два раза больше числа катушечных групп. На дощечку зажимов от статорной обмотки должно быть выведено шесть выводов — начала и концы трех фаз. Остальные выводы должны быть соединены внутри каждой фазы. Выполнение этих соединений — самая сложная часть работы обмотчика. Она требует знаний и навыка, так как при неправильном соединении катушечных групп машина не будет нормально работать.

Соединения катушечных групп показаны в развернутой схеме (см. рис. 53). Эта обмотка имеет шесть групп. Сначала надо соединить ка-

тушечные группы в одной фазе. Проследим, как выполнено соединение между группами первой фазы, начерченной жирными линиями. Вывод, выходящий из 1-го паза, является началом катушечной группы. Его отгибают, так как он пойдет к дощечке зажимов и будет началом первой фазы. Из 7-го паза выходит конец этой же катушечной группы. Его надо соединить со второй группой первой фазы, выводы которой выходят из 13-го и 19-го пазов.

Как видно из торцовой схемы (см. рис. 54), вторая катушечная группа расположена на статоре диаметрально противоположно первой группе. В четырехполюсной машине она должна иметь такую же полярность, как и первая. Поэтому направление тока в обеих катушечных группах должно быть одинаковое. Для этого надо конец первой группы, выходящий из 7-го паза (см. рис. 53), соединить с началом второй группы, выходящим из 13-го паза.

Проверим, действительно ли при таком соединении обе катушки имеют одинаковую полярность. Предположим, что ток направлен в отогнутый вывод первого паза. Он будет обтекать первую катушечную группу по направлению часовой стрелки, затем перейдет по проводу 13-го паза на вторую группу, которую будет обтекать также по часовой стрелке.

Следовательно, соединение катушечных групп выполнено правильно, так как полярность катушек соответствует положению их на статоре. Вывод, выходящий из 19-го паза, служит концом первой фазы и идет к дощечке зажимов. Других катушек в первой фазе нет, поэтому соединение катушечных групп в первой фазе на этом заканчивается.

Теперь надо решить, из какого паза взять начало второй фазы, изображенной тонкой линией. Для этого необходимо познакомиться с понятием «электрические градусы». Из геометрии известно, что окружность разбивается на 360°. Эти градусы называются пространственными. Поскольку статор и ротор представляют собой окружность, они всегда содержат 360 пространственных градусов. Число же электрических градусов в окружности статора может быть равно 360 или больше в целое число раз.

Если обмотка статора выполнена на два полюса, то число электрических градусов в окружности статора так же равно 360. Но если обмотка выполнена на четыре полюса, то за 360 электрических градусов следует принять часть окружности, на которой расположен один северный и один южный полюс. Так как вся окружность статора занимает четыре полюсных деления, то число электрических градусов будет в два раза больше, чем число пространственных.

Таким образом, в четырехполюсной обмотке окружность статора содержит 720 электрических градусов, в шестиполюсной обмотке — 1080 электрических градусов и т. д. Из этого можно вывести общее правило, что *число электрических градусов в окружности равняется 360 p* (где p — число пар полюсов обмотки).

Зная это, можно для всякой обмотки определить, сколько электрических градусов заключено между двумя соседними пазами. Например, статор имеет 36 пазов и обмотка выполнена на шесть полюсов. Окружность такого статора содержит 1080 электрических градусов.

Следовательно, угол между соседними пазами составляет:

$$\frac{1080}{36} = 30 \text{ электрических градусов.}$$

Для соблюдения симметрии обмотки необходимо, чтобы расстояние между началами трех фаз составляло две трети полюсного деления, т. е. 120 электрических градусов. Такое же расстояние должно быть и между концами фаз.

Вернемся к схеме, изображенной на рис. 53, и определим, из какого паза надо взять начало второй фазы, пользуясь правилом, с которым мы сейчас познакомились. В этой обмотке, намотанной на четыре полюса, окружность статора содержит 720 электрических градусов. Угол между соседними пазами будет:

$$\frac{720}{24} = 30 \text{ электрических градусов.}$$

Следовательно, начало второй фазы, которое должно отстоять от начала первой фазы на 120 электрических градусов, находится на расстоянии:

$$\frac{120}{30} = 4 \text{ пазовых деления.}$$

Теперь легко найти положение начала второй фазы, для чего к 1-му пазу нужно прибавить 4, тогда началом второй фазы должен служить провод, выходящий из 5-го паза. Конец первой катушечной группы второй фазы, выходящий из 11-го паза, надо соединить с началом второй группы этой фазы, выходящим из 17-го паза. При этом, как видно из схемы, получим катушки одинаковой полярности.

После соединения катушечных групп второй фазы останется свободным конец фазы, выходящий из 23-го паза. Но известно, что концы и начала фаз должны быть расположены также на расстоянии 120 электрических градусов, т. е. четырех пазовых делений. На основании этого можно проверить сделанное соединение. Для этого определим разность номеров пазов, из которых выходят концы фаз: 23—19 = 4 пазовых деления, т. е. концы фаз расположены правильно.

Теперь осталось соединить катушечные группы третьей фазы. Начало фазы должно выходить из паза 5 + 4 = 9. После соединения катушечных групп, которое выполняется аналогично соединению в других фазах, останется свободным вывод из 3-го паза.

Проверим, правильно ли расположены один относительно другого концы второй (23-й паз) и третьей (3-й паз) фаз. Это нельзя проверить простым вычитанием, так как 3 меньше 23. Поэтому поступим следующим образом. Обратимся к схеме (см. рис. 53) и начнем считать номера пазов подряд; тогда после 24-го будет 25-й паз, который на схеме обозначен номером 1; после 25-го — 26-й (на схеме — 2) и т. д. 3-й же паз получит номер 24 + 3 = 27. Вычитая 23 из 27, получим 4 пазовых деления. Таким образом, расстояние между концами фаз получилось правильное.

Теперь рассмотрим соединение катушек в фазах на схеме, показанной на рис. 55. У этой обмотки, выполненной вразвалку, число катушечных групп вдвое больше, чем у простых обмоток,

$$k = 2 \cdot 3p = 2 \cdot 3 \cdot 1 = 6. \qquad (6)$$

Угол между соседними пазами

$$\frac{360}{24} = 15 \text{ электрических градусов.}$$

Расстояние между началами фаз

$$\frac{120}{15} = 8 \text{ пазовых делений.}$$

Две катушки первой фазы расположены на статоре диаметрально противоположно и поэтому в двухполюсной машине должны иметь различную полярность. В первой катушке ток направлен по часовой стрелке, а во второй катушке этой же фазы—против часовой стрелки. Как видно на схеме, это будет тогда, когда мы соединим одноименные выводы катушек, т. е. конец первой катушки с концом второй. Аналогично должны быть соединены катушки в других фазах.

Существует два основных правила выполнения соединений катушечных групп в фазах однослойной концентрической обмотки выбора начал и концов фаз:

1. *Расстояния между началами и концами фаз должны быть равны 120 электрическим градусам. Положение начала первой фазы может быть выбрано произвольно.*

2. *В каждой фазе двухплоскостной обмотки надо соединять катушки разноименными выводами, т. е. начало с концом или конец с началом, а в трехплоскостной обмотке надо соединять катушки одноименными выводами, т. е. начало с началом или конец с концом.*

§ 21. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Обмотчику часто приходится самостоятельно составлять схемы обмоток. Исходными данными являются число пазов статора z, число полюсов $2p$ и число параллельных ветвей обмотки a. Разберем построение схемы на следующем примере.

Составим схему однослойной концентрической обмотки по данным: $z = 24$; $2p = 4$; $a = 1$.

Сначала определим число катушечных групп k по формуле (5):

$$k = 3p = 6.$$

Таким образом, в каждой фазе будет по две катушечные группы. Теперь определим число пазов на полюс и фазу по формуле (3):

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

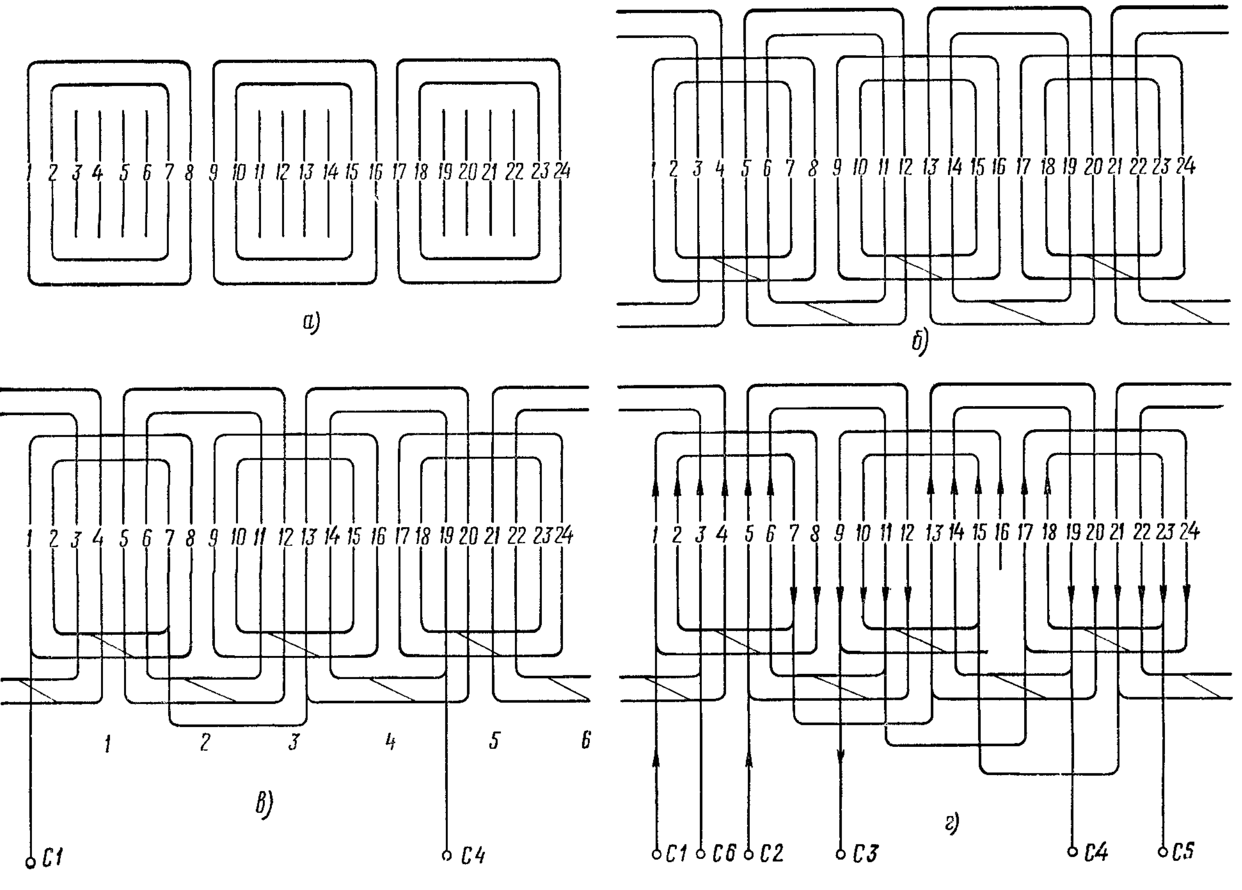


Рис. 56. Схема концентрической обмотки: *а*, *б*, *в*, *г* — последовательность построения

Следовательно, сторона каждой катушечной группы занимает два паза. Обмотка имеет четное число пар полюсов $p = 2$, поэтому ее можно выполнить без перекошенных катушек, расположив лобовые части в двух плоскостях.

Проводим 24 вертикальных линии (рис. 56, *а*), обозначающие пазы статора, и нумеруем их. 1 и 2-й пазы заняты левой стороной первой катушечной группы первой фазы. Затем оставляем четыре ($2q$) паза свободными для катушечных групп двух других фаз. Правая сторона этой катушечной группы лежит в 7-м и 8-м пазах. Это группа с короткими лобовыми частями. Рядом с ней лежит вторая группа с короткими лобовыми частями, которая занимает 9; 10; 15 и 16-й пазы, а затем третья группа, занимающая 17; 18; 23 и 24-й пазы. В промежутках, оставленных внутри катушечных групп, симметрично расположатся группы с длинными лобовыми частями (рис. 56, *б*). Пронумеруем по порядку все катушечные группы от первой до шестой (рис. 56, *в*).

К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, ко второй фазе — вторая и пятая, к третьей — третья и шестая. Принимаем за начало первой фазы начало первой катушечной группы — 1-й паз. Соединяем конец первой группы с началом четвертой (13-й паз). Конец четвертой катушечной группы является концом первой фазы (19-й паз). Таким образом, соединена схема первой фазы.

Чтобы определить положение начала второй фазы, надо рассчитать угол между двумя пазами в электрических градусах. У данной обмотки в окружности статора будет $360p = 360 \cdot 2 = 720$ электрических градусов. Следовательно, угол между пазами будет $720 : 24 = 30$ электрических градусов. Поэтому расстояние между началами фаз будет $120 : 30 = 4$ пазовых деления, а начала фаз расположены в следующих пазах: начало второй фазы в $1 + 4 = 5$-м пазу, а третьей фазы в $5 + 4 = 9$-м пазу.

Теперь соединяем катушечные группы в двух других фазах (рис. 56,*г*), следя за тем, чтобы полярность обеих катушек каждой фазы была одинаковой. Для этого конец второй катушечной группы соединяем с началом пятой, а конец третьей — с началом шестой.

Чтобы проверить правильность схемы, расставим на проводах стрелки, считая, что ток направлен в обмотку через начала первой и второй фаз, а из обмотки — через начало третьей фазы. На схеме видим, что стрелки делят ее на четыре симметричные зоны соответственно числу полюсов; в каждой зоне лежит по 6 пазов. Шаг между концами фаз также равен 4. Следовательно, обмотка выполнена правильно.

§ 22. СХЕМЫ РАВНОКАТУШЕЧНЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Для удобства изготовления катушки равнокатушечных обмоток обычно наматывают на шаблон в форме трапеции. На рис. 57 показана схема простой шаблонной обмотки, на рис. 58 — схема шаблонной обмотки вразвалку. Обмотку вразвалку применяют при большом числе

пазов на полюс и фазу для упрощения укладки лобовых частей. У цепных обмоток короткие и длинные стороны катушек чередуются.

На рис. 59 показана схема цепной обмотки статора с числом пазов 36 и числом полюсов 4. Из схемы видно, что шаг обмотки должен быть всегда равен нечетному числу, так как если длинные стороны катушек

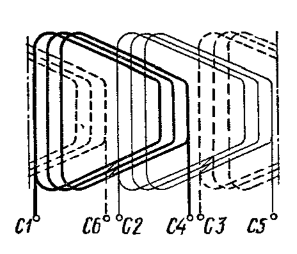


Рис. 57. Схема простой равнокатушечной шаблонной обмотки

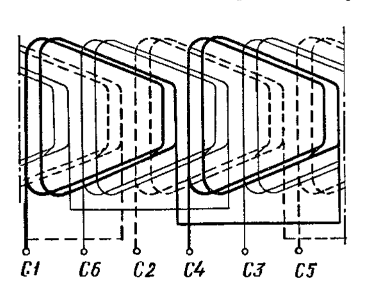


Рис. 58. Схема равнокатушечной шаблонной обмотки «вразвалку»

занимают пазы с нечетными номерами, то короткие стороны должны занимать пазы с четными номерами, а разность между четным и нечетным числом есть число нечетное. Все катушки имеют одинаковый шаг, равный 9, т. е. первая катушка укладывается в 1—10-й пазы, следующая — в 3—12-й и т. д.

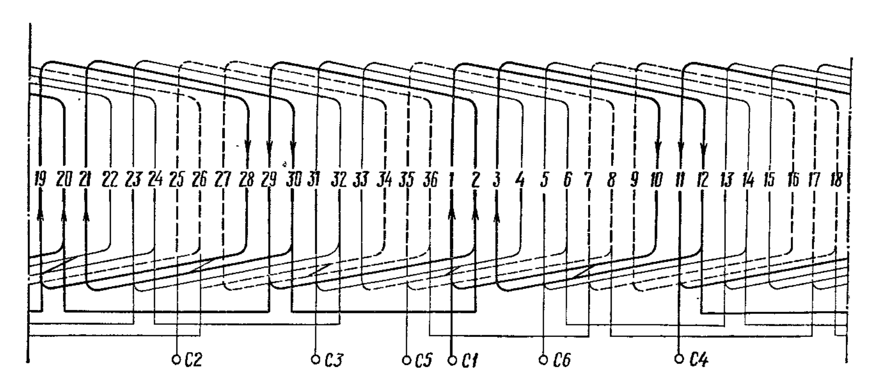


Рис. 59. Схема цепной обмотки с диаметральным шагом

Шаг обмотки в данном случае

$$y_z = \frac{36}{4} = 9.$$

Лобовые части цепной обмотки располагаются симметрично, поэтому по схеме нельзя определить, сколько катушечных групп содержит обмотка и на сколько полюсов она намотана. Для определения

числа полюсов надо проследить направление тока в проводах обмотки, считая, что ток направлен от начала первой фазы к ее концу.

На схеме (см. рис. 59) показано направление тока в первой фазе. Проследив направление тока во всех проводах фазы, видим, что ток в двух группах проводов направлен вверх, а в двух группах — вниз. Это показывает, что обмотка выполнена на четыре полюса. Число пазов, в такой группе равно 3 в соответствии с числом пазов на полюс и и фазу, которое в данной обмотке будет:

$$q = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3.$$

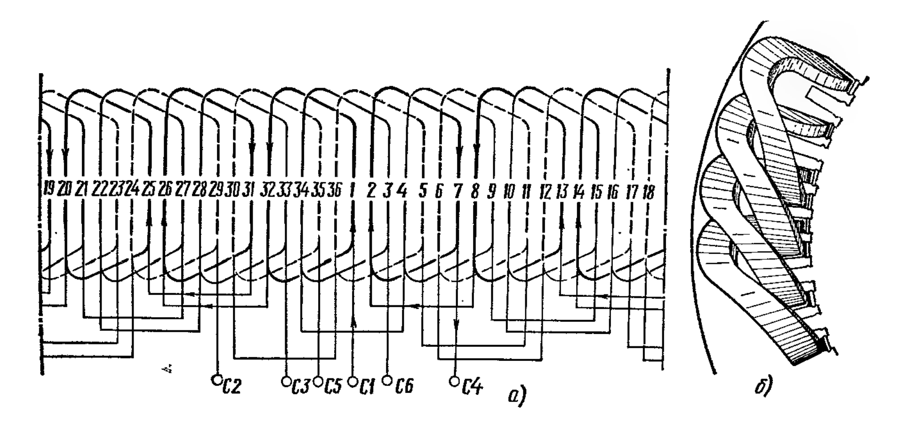


Рис. 60. Схема цепной обмотки с укороченным шагом (*а*) и вид ее лобовых частей (*б*)

Группы проводов с одинаковым направлением тока расположены на схеме на одинаковых расстояниях. Это показывает, что соединение катушек в обмотке выполнено правильно.

Цепные обмотки применяют в статорах машин малой мощности. Они могут быть изготовлены из заранее намотанных катушек, причем все катушки могут быть намотаны на одном и том же шаблоне. Провода вкладывают в пазы через прорезь паза. Поэтому обмотку называют всыпной. Цепные обмотки могут быть выполнены с укороченными катушками. Правда, укорочение не может быть произвольным, так как шаг обмотки должен всегда выражаться нечетным числом. Например, обмотку на схеме, показанной на рис. 59, можно выполнить с укорочением, т. е. из 1-го паза в 8-й паз.

Иногда обмотку приходится принудительно делать с укороченными катушками. Разберем такой пример. Имеется цепная обмотка со следующими техническими данными: $z = 36$; $2p = 6$. Разделив число пазов на число полюсов, узнаем, что шаг обмотки получается 6 — четное число. С таким шагом обмотка не может быть выполнена, поэтому берем шаг 5. На рис. 60 показана схема этой обмотки и вид ее лобовых частей.

§ 23. УКЛАДКА В ПАЗЫ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОБМОТОК

Концентрические обмотки статора из круглого провода при закрытой форме паза наматывали впротяжку. Изоляция паза при напряжении до 500 В состояла из нескольких слоев электрокартона и лакоткани. Слои изоляции наматывали на деревянную линейку и вставляли с торца в пазы статора.

В пазы, в которые должны быть намотаны стороны катушки, вставляли стальные спицы *1* (рис. 61, *а*), диаметром на 0,1 мм больше диа-

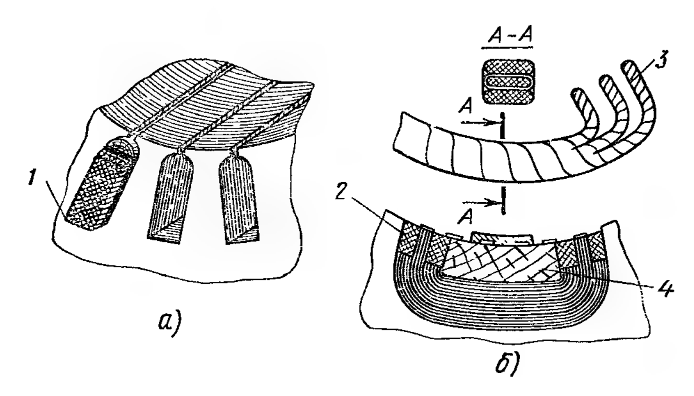


Рис. 61. Статор, обмотанный впротяжку:
а — до укладки обмотки, *б* — после укладки обмотки

метра изолированного провода *3* (рис. 61, *б*) в количестве, равном числу проводов в пазу. В соседние пазы внутри шага катушки вставляли хвостовики деревянных шаблонов *4*, вокруг которых выгибали лобовые части катушек.

Процесс намотки велся, начиная с внутренней катушки катушечной группы. В катушке трехфазной обмотки должно оставаться $2q$ свободных пазов. Намотку катушки концентрической обмотки выполняли два обмотчика. Сначала отмеряли от бухты длину провода, равную развернутой длине катушки, составляющей несколько десятков метров, отматывали его от бухты и натирали парафином для уменьшения трения между проводом и пазовой гильзой.

Первый обмотчик вытягивал из паза пассатижами одну спицу, второй проталкивал вслед за спицей конец провода до тех пор, пока он не выходил с противоположной стороны. Первый обмотчик захватывал конец провода и протягивал его через паз. В это время второй обмотчик направлял провод, не допуская резких перегибов и образования барашков. Когда весь отмеренный и отмотанный от бухты провод был протянут через паз, второй обмотчик вытягивал спицу из следующего паза по шагу обмотки, а первый просовывал вслед за спицей конец провода, и, направляя его, укладывал на шаблонах первый виток лобовой части обмотки. Таким образом, укладывали и следующие вит-

ки до тех пор, пока два паза не заполнялись проводами. Спицы из пазов вынимали в определенной последовательности, обеспечивающей расположение витков катушки согласно чертежу обмотки.

Для намотки второй катушки группы отматывали от бухты провод длиной, равной развернутой длине второй катушки, и отрезали его от бухты. Стальные спицы переставляли в следующие пазы и аналогично наматывали вторую катушку группы. Таким образом две катушки оказывались намотанными одним непрерывным проводом.

Как известно, в концентрических обмотках имеются катушечные группы с длинными и короткими лобовыми частями, которые на торце сердечника пересекаются. Сначала наматывали все катушечные группы обмотки статора с отогнутыми короткими лобовыми частями, а между ними вматывали катушечные группы, с длинными лобовыми частями. Из этого описания можно представить себе, насколько трудоемким был процесс намотки впротяжку. По сравнению с укладкой в пазы современных всыпных обмоток он занимал в 8—10 раз больше времени.

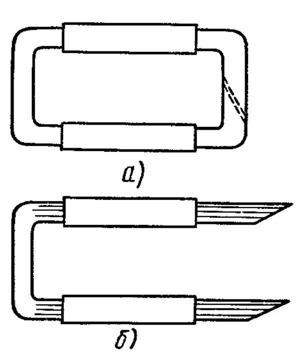


Рис. 62. Жесткая катушка концентрической обмотки:
а — после намотки, *б* — перед укладкой в пазы

Намотка впротяжку была необходима ввиду закрытой формы паза. В единых сериях при полузакрытой форме паза катушечные группы концентрических обмоток наматывают на шаблоны ступенчатой формы и вставляют в пазы через прорези.

При закрытой форме паза концентрические обмотки крупных машин из прямоугольного провода выполняли следующим образом. Наматывали катушки на шаблоны (рис. 62, *а*), затем разрезали одну лобовую часть, концы проводов распрямляли и вставляли в пазы (рис. 62, *б*). Затем снова загибали лобовые части, разрезанные провода скрепляли скобочками и пропаивали. Места паек изолировали.

В производстве двигателей единой серии с однослойными концентрическими обмотками пользуются торцовыми схемами, так как на них можно нагляднее показать укладку катушечных групп в пазы и расположение выводных концов обмотки относительно статора.

На рис. 63 показана торцовая схема обмотки статора, имеющего 24 паза с числом полюсов $2p = 4$. Расчетный шаг такой обмотки $y_z = \frac{24}{4} = 6$. Стороны катушки лежат в пазах 9—16 с шагом 7 и в пазах 10—15 с шагом 5. Средний шаг $\frac{7+5}{2} = 6$, т. е. равен расчетному.

Число пазов на полюс и фазу $q = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$, поэтому стороны катушек занимают по два паза. Внутри каждой катушки остаются свободными $2q = 4$ паза для катушек двух других фаз. Катушки соединены разноименными выводами для образования разной полярности.

Угол между соседними пазами будет

$$\frac{2 \cdot 360}{24} = 30 \text{ электрических градусов.}$$

Расстояние между началами и концами фаз

$$\frac{120}{30} = 4 \text{ пазовых деления, например } 16-20-24.$$

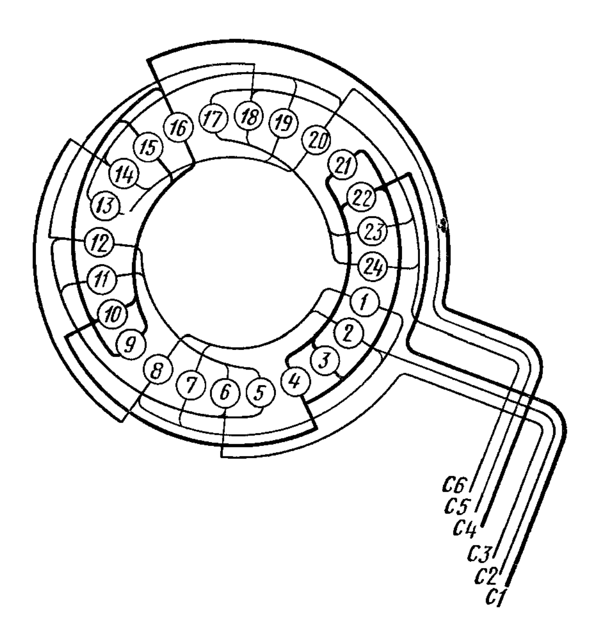


Рис. 63. Торцовая схема обмотки четырехполюсного статора

Соединения между катушками условно показаны внутри и снаружи статора. В действительности эти соединения расположены на торцах статора и привязаны к лобовым частям катушечных групп. Выводные концы обмотки распределены на два пучка, чтобы нельзя было спутать концы фаз с началами, и имеют бирки с выбитыми на них обозначениями выводов обмотки.

На рис. 64 изображена схема этого же статора, но обмотанного на два полюса. У этой обмотки число пазов на полюс и фазу $q = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$. Однако, как видно на схеме, стороны катушек занимают по два паза. Следовательно, обмотка выполнена вразвалку. У этой обмотки, намотанной из круглого провода, мы не видим трех плоскостей в расположении лобовых частей катушек.

Как видно на схеме, все катушки намотаны с перекошенными лобовыми частями и переплетаются на торцах статора. Поэтому, глядя на

обмотанный статор, нельзя определить число полюсов обмотки, как у жестких концентрических обмоток.

Угол между соседними пазами

$$\frac{360}{24} = 15 \text{ электрических градусов.}$$

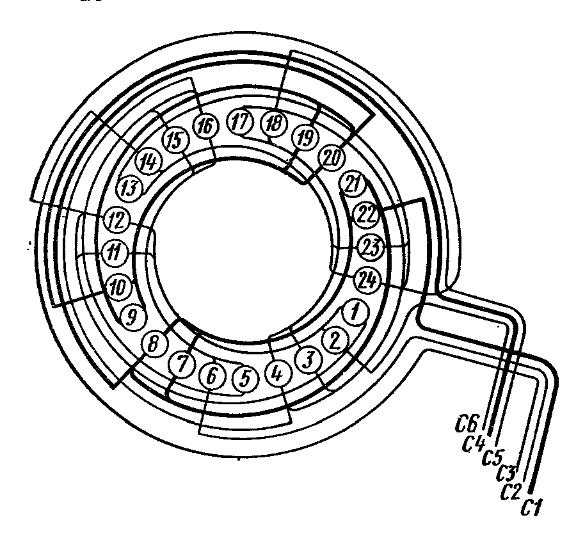


Рис. 64. Торцовая схема обмотки двухполюсного статора

Расстояние между выводами фаз

$$\frac{120}{15} = 8 \text{ пазовых делений, например } 6 — 14 — 22.$$

§ 24. ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ УКЛАДКИ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Высокая производительность труда при укладке статорных обмоток достигнута благодаря применению специальных инструментов, приспособлений и рациональных приемов работы.

При укладке в пазы всыпных обмоток статора обмотчицы применяют следующие специальные инструменты (рис. 65):

штеммер (оправка, рис. 65, *а*) — полированный стальной топорик, используемый при укладке обмоток статора в полузакрытые пазы;

стальная полированная пластина на деревянной ручке (рис. 65, *б*), служащая для загибания изоляционных гильз в пазы;

отбивалка (стальная полированная пластина, рис. 65, *в*), используемая для формовки лобовых частей;

Таблица 6

Инструкционная карта укладки статорных обмоток двигателей единой серии 4-го габарита

Номер перехода	Наименование элемента операций	Осуществление операции обмотчицей	
		правой рукой	левой рукой
1	Установить пакет статора в приспособление и снять его	Обеими руками устанавливает пакет статора в приспособлении	
2	Вложить изоляционные прокладки в паз	Берет, сгибает и укладывает в паз внутреннюю изоляционную прокладку	Подносит катушки
3	Вложить катушки в пазы	Снимает завязку, обеими руками выравнивает провода катушки в один ряд и всыпает их с угла в паз пакета статора	
4	Заправить изоляцию в пазах	Пластиной заворачивает внутреннюю прокладку	Вводит штеммер в паз пакета статора
		Подправляет провода штеммером	Поддерживает провод на лобовой части
5	Подбить лобовые части	Молотком ударяет по отбивалке, формуя катушку на лобовой части	Держит отбивалку на лобовой части
6	Заклинить обмотку в пазах	Вводит клин	Штеммером проглаживает завертку и внутреннюю прокладку
7	Уложить междуфазовую изоляцию	Укладывает междуфазовую прокладку	Поднимает лобовую часть катушки
8	Отбить лобовую часть обмотки	Отбивает молотком лобовую часть	Прижимает пластину к лобовой части

стальной молоток (рис. 65, *г*), удобный для работы внутри расточки статора двигателей малой мощности.

В табл. 6 приведена инструкционная карта укладки статорных обмоток двигателей единой серии. Карта разработана на основе изучения приемов работы передовиков производства.

На рис. 66 показан поворотный стол для обмотки статоров. Стол расположен на одном уровне с поверхностью верстака *8*, в котором вырезаны круглые гнезда. Стол состоит из верхнего поворотного диска *1* и нижнего неподвижного диска *4*, прикрепленного к верстаку болтами *7*. На дисках проточены канавки, в которые уложены стальные шарики *5*, обеспечивающие легкое вращение диска. Ось вращения *2*

неподвижно укреплена в нижнем диске. В верхнем диске запрессована бронзовая втулка *3*, в которой просверлено отверстие для смазки. Для фиксации положения верхнего диска служит защелка *6*, входящая в пазы верхнего диска. Поворотный стол значительно облегчает

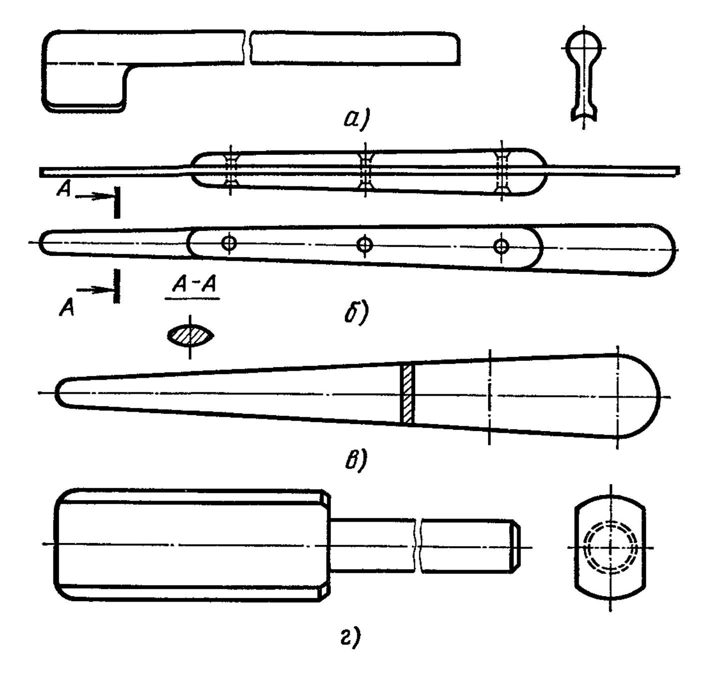


Рис. 65. Набор инструментов обмотчика:
а — штеммер (оправка), *б*, *в* — пластины, *г* — молоток

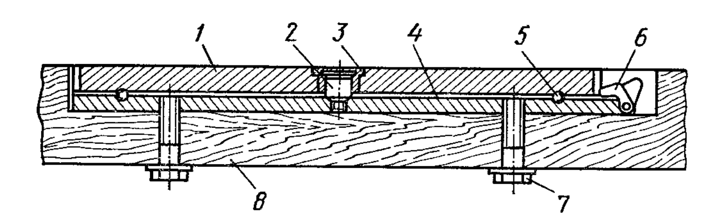


Рис. 66. Поворотный стол для обмотки статоров

труд обмотчиков и повышает его производительность. Он позволяет работать одному обмотчику, а раньше работали два обмотчика.

На рис. 67 показан ротор асинхронного двигателя с закрытыми пазами в процессе укладки обмотки впротяжку. Как видно на рисунке, катушечные группы состоят из двух катушек, следовательно, число пазов на полюс и фазу равно двум. Шаблоны установлены для формовки лобовых частей верхней катушечной группы. Для удобства пово-

рачивания ротора в процессе укладки обмотки он установлен на двух вращающихся роликах. После укладки обмотки в пазы лобовые части катушечных групп должны быть перевязаны шпагатом во избежание деформаций под действием центробежных сил при вращении ротора.

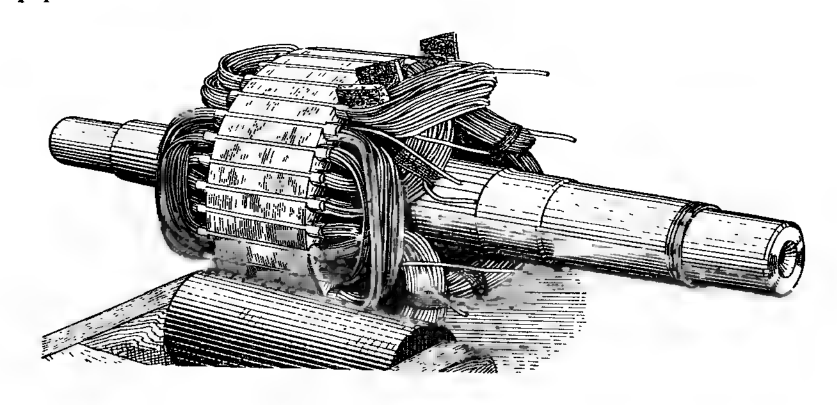


Рис. 67. Ротор в процессе укладки обмотки впротяжку

Выводы роторной обмотки после соединения фаз в звезду должны быть присоединены к контактным кольцам, которые насаживают на вал после окончания процесса обмотки. В этом двигателе контактные кольца расположены внутри подшипникового щита, поэтому пропускать выводы через отверстие в валу не требуется.

§ 25. ОБМОТОЧНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ СТАТОРОВ

Электрические машины малой мощности выпускаются в значительно больших количествах, чем крупные машины, поэтому производство их носит массовый характер. В связи с этим потребовалось перестроить производство малых двигателей на поточное с применением автоматических станочных линий. Такие линии на участках механической обработки, литья и штамповки резко повысили производительность труда, и ручная укладка обмоток в пазы стала тормозить развитие производства. Поэтому появилась необходимость замены ручного труда машинным.

Машинная укладка обмоток статора с пазами на внутренней окружности представляет значительно бóльшую трудность, чем обмотка якорей с пазами на наружной окружности. В поисках наиболее рационального решения было разработано много типов обмоточных станков, однако изыскания в этой области еще не закончены. Несмотря на большое количество различных конструкций обмоточных станков их можно разделить на две группы. В одних намотка катушки в два паза производится специальным обмоточным механизмом. В других катушка вращающимся мотовилом наматывается на шаблон, а затем защемляется на оправке и вдвигается в пазы статора.

Типичным станком первой группы является станок челночного типа, наматывающий провод непосредственно в пазы статора. Статор вставляют в патрон *3* (рис. 68), вращающийся в двух стойках *2*. Внутри статора движется штанга *1* челнока. Провод сматывается с катушки *4*. Механизм станка приводится в движение от вращающегося распределительного барабана с помощью рычагов *5* и *6*. Рабочий цикл состоит из восьми движений, во время которых наматывается один виток обмотки.

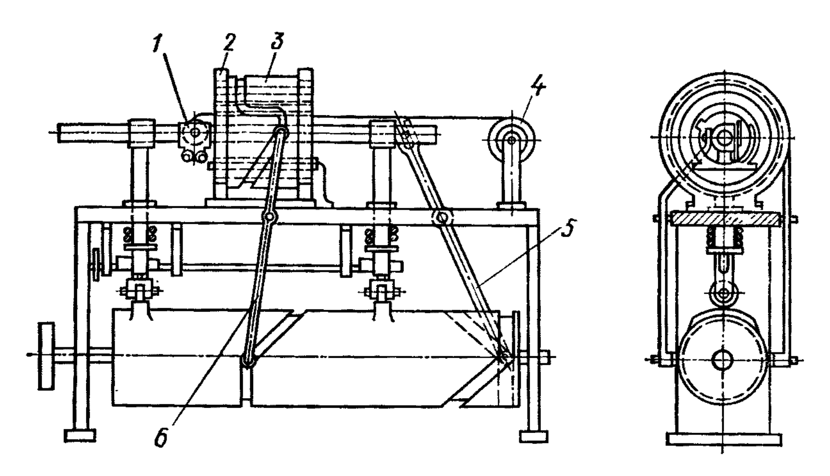


Рис. 68. Обмоточный станок челночного типа

После закрепления конца провода механизм станка производит следующие движения:

челнок движется вдоль статора при помощи рычага *6*;

челнок перемещается радиально рычагами, вводя провод в паз;

статор поворачивается на угол, соответствующий шагу обмотки, при помощи рычага *7*;

челнок выходит из паза;

челнок движется вдоль паза статора в обратном направлении;

челнок перемещается радиально, вводя провод в паз;

статор поворачивается в обратную сторону на величину шага обмотки;

челнок поднимается в исходное положение.

Рис. 68 иллюстрирует лишь принцип работы обмоточного станка челночного типа. На этом принципе построены многочисленные типы обмоточных станков более совершенной конструкции с горизонтальным, вертикальным и наклонным положениями статора в процессе обмотки. Станки этого типа обладают невысокой производительностью (3—4 статора в час), но работают бесперебойно при числах полюсов статора от 2 до 8.

Станки второй группы позволяют получить производительность в 3—4 раза большую, чем станки первой группы. На рис. 69 показан

станок ОС-627-31, предназначенный для обмотки статоров электродвигателей единой серии 3-го габарита. Станок представляет собой четырехпозиционный карусельный полуавтомат револьверного типа с электропневматическим управлением. Основными узлами станка являются: сматывающее приспособление *8*, намоточная головка *7*, поворотный стол *4*, оправки *3* и *5*, механизм межкатушечной петли *6*, статорная головка *2* и станина *1*.

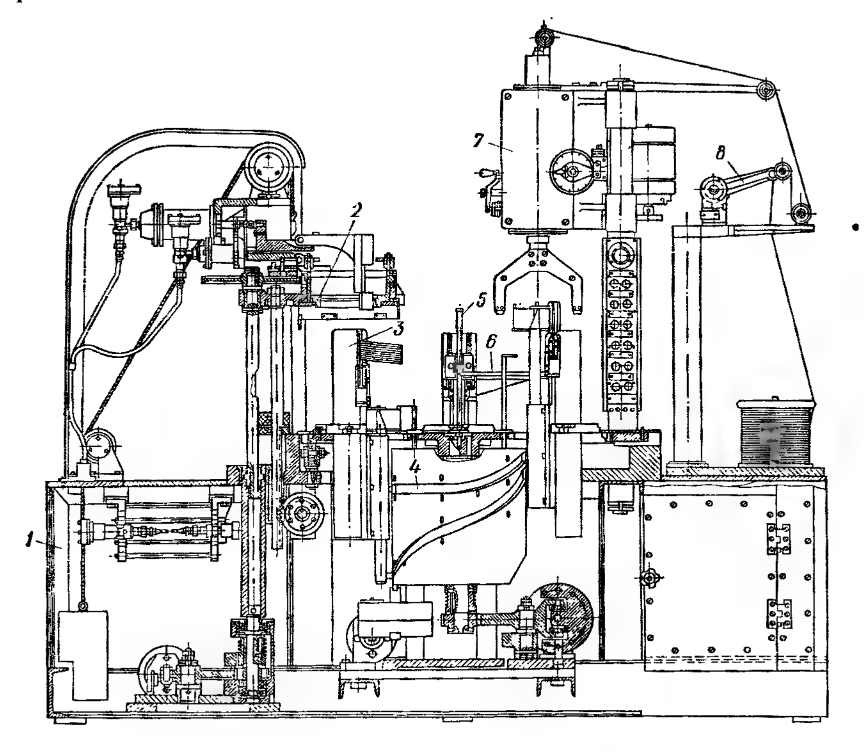


Рис. 69. Обмоточный станок ОС-627-31

Главные рабочие узлы станка — намоточная и статорная головки. Связующим звеном служат оправки, вертикально укрепленные на круглом поворотном столе. Они предназначены для передачи намотанных рядовых катушек от намоточной головки к статорной и для введения их вместе с прокладками в пазы статора. Взаимодействие узлов и заданная последовательность их работы обеспечиваются электропневматической схемой управления.

В цикл образования на станке катушки концентрической обмотки входят следующие основные операции:

намотка вращающимся мотовилом на неподвижный шаблон рядовой многослойной катушки;

поворот стола на 90°, вытягивание межкатушечной петли провода, закрепление внутренней головки катушки на оправке;

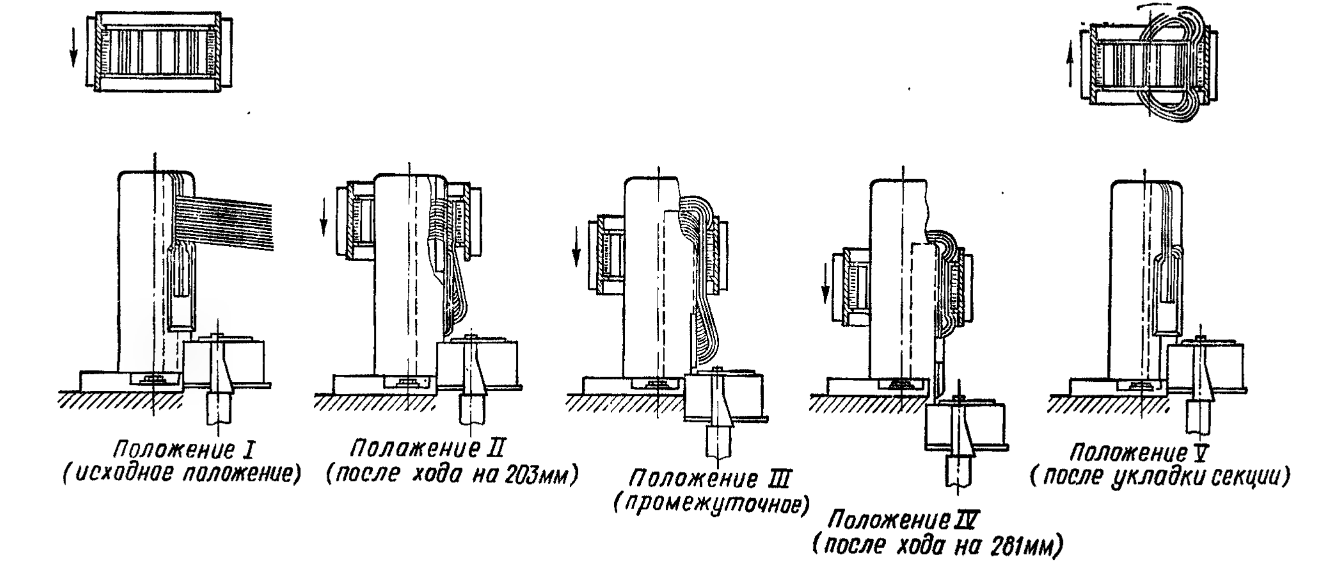


Рис. 70. Схема укладки катушек

поворот стола в следующую позицию на 90° и удаление из катушки, защемленной на оправке, намоточного шаблона;

укладка катушки в пазы статора путем надвигания на оправку с катушкой статора в аксиальном направлении; закрытие пазов изоляционными коробочками; съем катушки с оправки.

В основу станка положен следующий принцип действия: вращающимся мотовилом на шаблон наматывается рядовая катушка, одна из лобовых частей которой защемляется в оправке. Шаблон удаляется из катушки, и на оправку с защемленной катушкой начинает надвигаться вдоль оси статор (рис. 70). В этом положении ось оправки совпадает с осью статора (положение *I*), причем провода катушки выходят из щели оправки в точках, расположенных против прорезей тех пазов статора, в которые будет вложена катушка. При опускании статора оправка входит в его отверстие, а боковые стороны катушки постепенно деформируются и вдвигаются в пазы (положение *II*), так как толщина катушки в местах выхода из оправки меньше ширины прорези паза.

При дальнейшем опускании статора начинает опускаться и ползун оправки (положение *III*). Щель оправки открывается и верхние лобовые части витков катушки постепенно сбрасываются с головки ползуна. Этому способствуют выталкиватели, которые удерживают внутренние витки, не позволяя им опускаться вслед за статором и ползуном. При этом происходит некоторое взаимное проскальзывание проводников катушки.

В самом нижнем положении все витки оказываются уложенными в пазы статора, а лобовые части сгруппированными в пучки овального сечения (положение *IV*). Одновременно с катушкой вдвигаются картонные коробочки, предохраняющие витки обмотки от выпадения из пазов. Затем статор с вложенной катушкой поднимается в верхнее положение, катушка снимается с оправки и уходит со статором (положение *V*). После возврата статора в верхнее положение лобовые части уложенной катушки отжимаются от центра к периферии.

Этот цикл на каждом статоре повторяется столько раз, сколько катушек образуют обмотку. Катушки с различным шагом вкладывают через одну: вначале внутреннюю малую, а затем охватывающую ее большую катушку. После укладки каждой катушечной группы статор поворачивается на 120°.

Контрольные вопросы

1. Какие типы однослойных обмоток вы знаете?
2. Чем отличаются торцовые схемы обмоток от развернутых?
3. В каких случаях применяют двухплоскостные и трехплоскостные концентрические обмотки?
4. Как соединяют катушечные группы в фазах?
5. Расскажите, как составляют схемы концентрических обмоток?
6. Какие разновидности равнокатушечных обмоток вы знаете?
7. Как работает обмоточный станок челночного типа?
8. На чем основано устройство обмоточного станка ОС-627-31?

ГЛАВА VI. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ В ПАЗЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

§ 26. ТИПЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Двухслойными называются обмотки, у которых в пазу лежат стороны двух катушек и каждая катушка расположена в двух слоях: один слой обмотки укладывают на дно паза, а другой располагают над ним. Лобовые части катушек также занимают два слоя, и переход из слоя в слой осуществляется в головках катушек.

К двухслойным обмоткам статора относятся:

трехфазная всыпная обмотка при полузакрытой форме паза;

трехфазная катушечная обмотка при полуоткрытой форме паза;

трехфазная катушечная обмотка при открытой форме паза;

трехфазная стержневая обмотка при открытой форме паза.

Всыпную обмотку из мягких катушек в единых сериях асинхронных двигателей применяют при мощностях до 100 кВт. При мощностях 125—400 кВт и напряжении не выше 660 В используют катушечную обмотку из жестких катушек, число которых в два раза больше числа пазов (см. рис. 1, *в*). При мощностях более 400 кВт и напряжениях выше 660 В статоры имеют открытые пазы, в которые укладывают катушки с непрерывной изоляцией. Стержневые обмотки встречаются только в крупных машинах мощностью в десятки и сотни тысяч киловатт, главным образом в турбо- и гидрогенераторах.

Главными преимуществами двухслойных обмоток перед однослойными являются: возможность выбора любого укорочения шага обмотки для улучшения характеристик двигателей и генераторов, непрерывная изоляция катушек и стержней при открытой форме паза и более совершенная технология изготовления элементов обмоток и укладки их в пазы. Поэтому двухслойные обмотки — самые распространенные в статорах машин переменного тока.

§ 27. ДИАМЕТРАЛЬНЫЙ И УКОРОЧЕННЫЙ ШАГ ОБМОТКИ

В отличие от концентрической двухслойная равнокатушечная обмотка характеризуется тем, что она выполняется из однотипных катушек, которые имеют одинаковый шаг и одинаковую форму. Соединения между витками производят непрерывным проводом в процессе намотки катушки на шаблоне. Число соединений между ка-

тушками может быть уменьшено путем намотки непрерывным проводом катушечных групп из нескольких катушек.

В двухслойной обмотке шагом катушки называют расстояние между верхней и нижней сторонами катушки, выраженное номерами пазов, в которых лежат эти стороны. Шаг обмотки может быть диаметральным или укороченным. Диаметральный шаг обмотки определяют по формуле (2).

Если обмотка выполнена на два полюса, то шаг при $2p = 2$ будет охватывать половину окружности статора. Поэтому его и называют диаметральным шагом. Обмотки с диаметральным шагом применяют редко.

Большинство обмоток статора делают с укороченным шагом, так как укорочение шага улучшает электрические свойства машины. Кроме того, укорочение шага дает экономию меди в лобовых частях, так как при уменьшении ширины катушки укорачиваются и лобовые части. Обычно шаг укорачивают на 1/6 диаметрального шага. Например, если диаметральный шаг обмотки равен 12, то укороченный шаг берут 10.

В двухслойной обмотке последовательно соединенные рядом лежащие катушки образуют катушечную группу. Но по уложенной в пазы обмотке трудно определить число катушечных групп, потому что все они имеют симметричную форму, и лобовые части по виду напоминают плетеную корзину. В двухслойной обмотке число полюсов можно определить только по шагу обмотки.

Приведем несколько примеров.

Статор имеет 48 пазов, а катушки уложены из 1-го паза в 7-й ($y_z = 6$). Разделив 48 на 6, получим 8. Следовательно, такая обмотка имеет 8 полюсов.

Статор имеет 90 пазов, а шаг обмотки 1—9. Если катушки вкладываются в 1-й и 9-й пазы, то шаг обмотки 8. Чтобы определить число полюсов надо число пазов разделить на шаг обмотки. Но 90 не делится без остатка на 8, а число полюсов должно обязательно выражаться целым четным числом. В данном случае имеем укороченный шаг. Для определения диаметрального шага нужно подобрать ближайшее большее число, на которое 90 делится без остатка. Таким числом будет 9. Число полюсов определим, разделив 90 на 9. Значит, данная машина имеет 10 полюсов.

Тот же статор можно намотать на другое число полюсов, изменяя шаг обмотки и число катушек в катушечной группе.

§ 28. СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

В двухслойных обмотках, как и в однослойных, важным показателем, характеризующим обмотку, является число пазов на полюс и фазу. Его определяют так же, как и для однослойных обмоток по формуле (3).

В концентрических обмотках, число пазов на полюс и фазу легко определить по виду обмотки, так как это будет число катушек в одной

катушечной группе. В двухслойной обмотке число пазов на полюс и фазу нельзя определить по внешнему виду обмотки, но его можно рассчитать, зная числа пазов и полюсов. Общее число катушек двухслойной обмотки равно числу пазов, так как каждая катушка занимает две половины паза, что равносильно одному пазу.

Для уменьшения числа паек в соединениях между катушками обычно их наматывают непрерывным проводом группами по нескольку катушек, в зависимости от числа пазов на полюс и фазу. Помимо сокращения рабочего времени на паяние непрерывная намотка катушечных групп значительно упрощает процесс их соединения и уменьшает

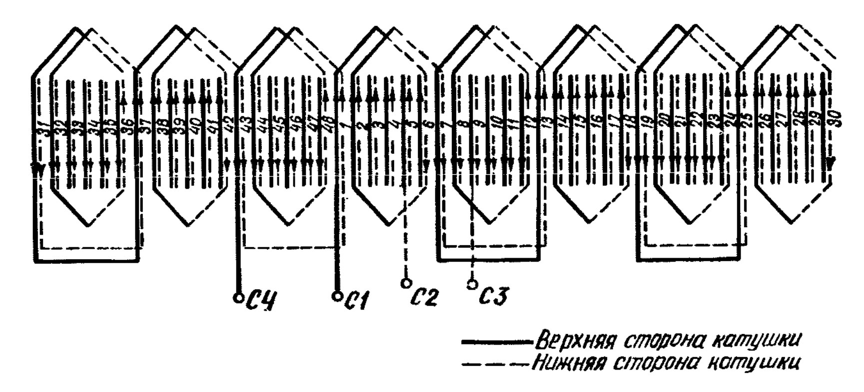


Рис. 71. Развернутая схема двухслойной обмотки

возможность ошибок при выполнении соединений по схеме. Это объясняется тем, что при соединении схемы приходится иметь дело с меньшим числом выводов.

Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, а во всей обмотке:

$$k = 2pm = 6p, \tag{7}$$

т. е. вдвое больше, чем в однослойных двухплоскостных обмотках.

На рис. 71 показана развернутая схема двухслойной обмотки со следующими данными: $z = 48$, $2p = 8$, $q = 2$. Для большей наглядности схемы в ней показаны соединения проводов только одной фазы. 1-й паз помещен не с краю схемы, а в середине. Разрез схемы выбран так, чтобы ни одно соединение между катушечными группами не было разорвано. Из схемы видно, что обмотка имеет шаг из 1-го паза в 6-й, так как верхняя сторона первой катушки, изображенная сплошной линией, лежит в 1-м пазу, а нижняя ее сторона, изображенная штриховой линией, лежит в 6-м пазу. Таким образом, шаг обмотки равен 5.

Диаметральный шаг обмотки был бы:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{48}{8} = 6.$$

Следовательно, эта обмотка с укороченным шагом. Число пазов на полюс и фазу этой обмотки

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{48}{8 \cdot 3} = 2.$$

Каждая катушечная группа состоит из двух катушек. Соединения между катушками в катушечной группе осуществляются непрерывным проводом и изображены в нижней части схемы.

Проследим расположение катушечных групп первой фазы на статоре и их соединение. Начало первой фазы берем из верхней части 1-го паза. Первая катушечная группа занимает верхние части 1 и 2-го пазов и нижние части 6 и 7-го пазов.

Оставим свободными четыре ($2q$) верхние стороны пазов для катушек других фаз. Они лежат в 3, 4, 5 и 6-м пазах. Следующая катушечная группа первой фазы должна лежать верхними сторонами в 7 и 8-м пазах, а нижними — в 12 и 13-м. Третья катушечная группа первой фазы лежит верхними сторонами в 13 и 14-м пазах, а нижними — в 18 и 19-м пазах. Таким образом, как в верхнем, так и в нижнем слое обмотки остаются свободными по четыре половины паза для катушек других фаз.

Посмотрим, как соединяются между собой выводы отдельных катушечных групп первой фазы. Конец первой группы выходит из 7-го паза и должен быть соединен с одним из выводов второй группы. Первая и вторая группы фазы, смещенные на одно полюсное деление, должны быть разной полярности: одна северная, другая южная. Для этого необходимо, чтобы направление тока в них было встречное.

В первой катушечной группе, как показано стрелками, ток обтекает катушку по направлению часовой стрелки. Чтобы во второй группе направление тока было противоположное, нужно соединить конец первой группы, выходящей из 7-го паза, с концом второй группы, выходящим из 13-го паза, как показано на схеме штриховыми линиями. Тогда направление тока в этой группе будет против часовой стрелки.

Остался свободным вывод от начала второй катушечной группы, выходящий из 7-го паза. Его надо соединить с одним из выводов третьей группы. Но третья группа по схеме должна иметь такую же полярность, как и первая, т. е. ток должен обтекать ее по часовой стрелке. Поэтому начало третьей группы, выходящее из 13-го паза, необходимо соединить с началом второй группы, выходящим из 7-го паза. Это соединение показано на схеме сплошными линиями.

Таким образом, для двухслойных обмоток существует правило: *при соединении катушечных групп надо соединять одноименные выводы, т. е. начало группы с началом следующей и конец группы с концом следующей.*

После того как все катушечные группы соединены, начало последней катушечной группы первой фазы выйдет из верхней части 43-го паза. Вывод из 1-го паза является началом первой фазы (*C1*), а вывод из 43-го паза— ее концом (*C4*). Чтобы облегчить изучение схемы, укладка катушек показана только для одной фазы. При обмотке статора

катушки всех фаз вкладывают в пазы подряд и затем соединяют катушечные группы в фазах.

Как же выбрать расположение начал второй и третьей фаз? Они должны выходить из верхней части паза так же, как и начало первой фазы. Для определения номеров пазов, из которых будут выходить начала фаз, нужно руководствоваться правилом, с которым мы познакомились при изучении однослойных обмоток, т. е. начала фаз должны быть сдвинуты на 120 электрических градусов. В схеме, показанной на рис. 71, число полюсов $2p = 8$; в окружности статора будет $360p = 360 \cdot 4 = 1440$ электрических градусов. Угол между соседними пазами равен $1440 : 48 = 30$ электрических градусов.

Между началом первой фазы и началом второй должно быть $120 : 30 = 4$ пазовых деления. Если отсчитаем от 1-го паза четыре пазовых деления, получим 5-й паз. Таким образом, начало второй фазы (*С2*) будет выходить из 5-го паза, а начало третьей фазы (*С3*) можно нанести на схему, отсчитав четыре пазовых деления от 5-го паза (получим 9-й паз).

Чтобы проверить правильность схемы, следует определить, из каких пазов выходят концы фаз. Они также должны быть удалены один от другого на 120 электрических градусов, поэтому должны выходить из верхней части 47-го паза (вторая фаза) и верхней части 3-го паза (третья фаза). Если концы выходят из этих пазов, то схема выполнена правильно.

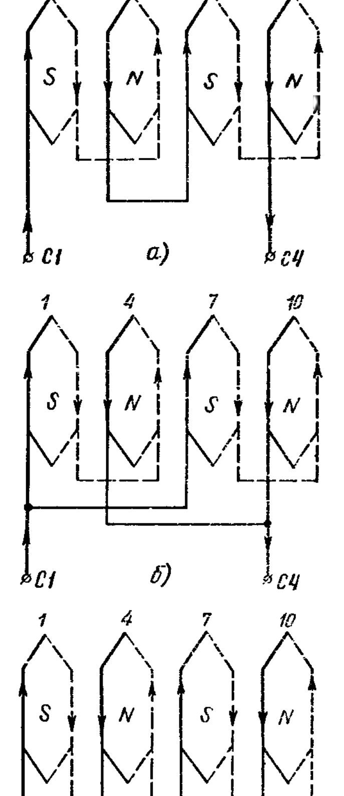


Рис. 72. Схемы соединения катушек:
а — последовательное, *б* — смешанное, *в* — параллельное

В машинах, у которых ток в фазе большой, соединяют катушечные группы не последовательно, а параллельно. На рис. 72 показаны три варианта соединения катушечных групп четырехполюсной обмотки. На рис. 72, *а* все катушечные группы соединены последовательно, на рис. 72, *б* они соединены в две параллельные ветви и по каждой ветви протекает половина тока фазы. На рис. 72, *в* обмотка соединена в четыре параллельные ветви и по каждой ветви протекает четверть тока фазы. На схемах изображены катушечные группы только одной фазы и указаны их номера 1, 4, 7 и 10. Пропущенные номера заняты группами других фаз.

Параллельные соединения должны быть выполнены так, чтобы

направление тока в проводах и полярность полюсов остались теми же, какими они были при последовательном соединении. Это достигается соответствующим присоединением выводов катушечных групп к соединительным проводам. Направления токов и полярность полюсов обозначены на схемах.

В двухслойных обмотках наибольшее возможное число параллельных ветвей при целом числе пазов на полюс и фазу равно числу полюсов

$$a_{\text{макс}} = 2p. \qquad (8)$$

Рассматривая схему (см. рис. 71), можно заметить, что в 6-м пазу направления токов в верхнем и нижнем проводах встречные. То же самое можно наблюдать в других пазах, отстоящих от 6-го паза на величину диаметрального шага, т. е. в 12 и 18-м пазах и т. д. Это всегда наблюдается в обмотках с укороченным шагом.

В каждой зоне между двумя полюсными делениями будут пазы со встречным направлением токов. Число таких пазов в зоне зависит от того, на сколько пазов принято укорочение шага. В этой обмотке диаметральный шаг 6, а укороченный 5. Поэтому в каждой зоне расположено по одному пазу со встречным направлением токов. Чтобы обеспечить получение требуемой э. д.с. в обмотках с укороченным шагом, приходится увеличивать число проводов в фазах.

§ 29. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

Составление схем двухслойных обмоток покажем на примере обмотки статора со следующими данными: $z = 18$; $2p = 2$; $a = 1$.

Сначала подсчитаем диаметральный шаг обмотки по формуле (2):

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{18}{2} = 9.$$

Для улучшения электрических характеристик машины возьмем $y_z = 7$ с укорочением шага на 2 паза, что составит примерно одну пятую от диаметрального шага. Проведем 36 вертикальных линий, ко-

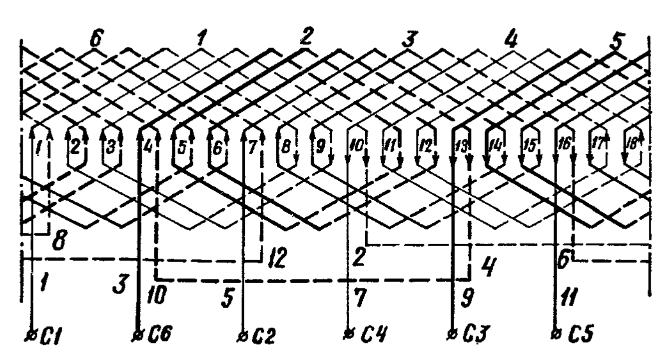


Рис. 73. Схема двухслойной обмотки статора двухполюсной машины

торые будут представлять собой стороны катушек, лежащих по две в 18 пазах (рис. 73). В каждом пазу левую линию проведем сплошной и она будет изображать верхнюю сторону катушки, а правую — штриховой и она будет изображать нижнюю сторону катушки. Начало первой фазы возьмем из верхней части 1-го паза. Теперь соединим этот провод согласно шагу обмотки по пазам с нижней стороной катушки в $1 + 7 = 8$-м пазу, так как в двухслойных обмотках одна сторона катушки лежит в верхней части паза, а другая — в нижней.

Число пазов на полюс и фазу у этой обмотки:

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3.$$

Таким образом, в катушечной группе будут три катушки. Поэтому из нижней части 8-го паза переходим в верхнюю часть 2-го паза, а затем в нижнюю часть 9-го паза. Третья катушка соединится с верхней стороной 3-го паза и затем с нижней стороной 10-го паза. Это будет конец первой катушечной группы. Затем соединяем вторую группу обмотки, начиная с верхней части 4-го паза и т. д.

Теперь определим, где будет начало второй фазы. В данной обмотке угол между соседними пазами будет $\frac{360}{18} = 20$ электрических градусов.

Расстояние между началами фаз $\frac{120}{20} = 6$ пазовых делений.

Начало второй фазы должно выйти из верхней части 7-го паза, а начало третьей фазы — из верхней части 13-го

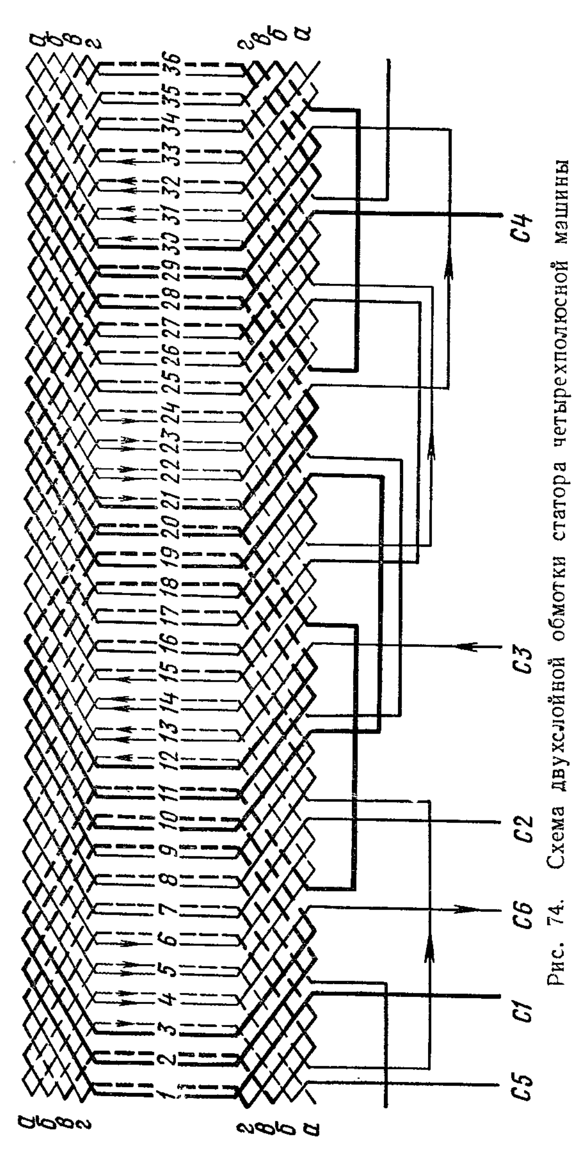


Рис. 74. Схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины

паза. Теперь осталось соединить катушечные группы в фазах, которые должны быть соединены последовательно, так как $a = 1$. К первой фазе принадлежат первая и четвертая группы, ко второй — третья и шестая, к третьей — вторая и пятая. При соединении катушечных групп руководствуемся правилом для двухслойных обмоток, т. е. в первой фазе конец первой группы соединяем с концом четвертой, во второй фазе — конец третьей группы с концом шестой и т. д.

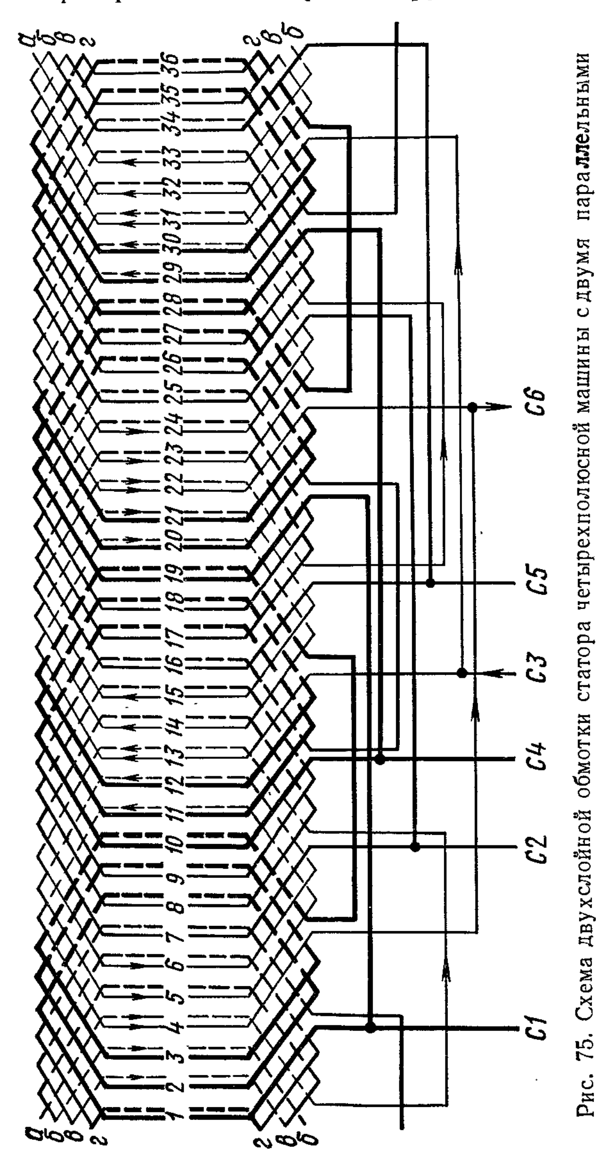


Рис. 75. Схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины с двумя параллельными ветвями

Для проверки правильности схемы поставим стрелки, указывающие направление тока в проводах. Направления токов возьмем такие же, как на схеме, показанной на рис. 56. Когда расставим все стрелки, то увидим, что направлением стрелок обмотка делится на две зоны, что соответствует числу полюсов. Но в 8, 9, 17 и 18-м пазах направление токов в проводах паза встречное. Это объясняется тем, что обмотка имеет укороченный шаг. Обычно число пазов, в которых направление токов встречное, в каждой зоне равно числу, выражающему укорочение шага. Действительно, в данной обмотке укорочение шага 9—7 = 2, а расположение стрелок на проводах показывает, что обмотка выполнена правильно.

Второй проверкой может служить расположение концов фаз. Мы видим на схеме, что концы фаз так же, как и начала,

удалены один от другого на 6 пазовых делений, т. е. на 120 электрических градусов.

На рис. 74 показана схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины. У этой обмотки диаметральный шаг должен быть

$$y_z = \frac{36}{4} = 9.$$

На схеме мы видим, что верхний провод 1-го паза соединен с нижним 9-го паза. Следовательно, это обмотка с укорочением шага на один паз. Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3,$$

поэтому каждая сторона катушки расположена в трех соседних пазах. По формуле (7) общее число катушек $k = 6p = 12$, следовательно, в одной фазе должно быть четыре катушки.

Междукатушечные перемычки соединяют одноименные выводы, например, конец катушки 11-го паза соединен с концом катушки 20-го паза. Это необходимо для образования разной полярности катушек. Угол между соседними пазами будет $\frac{2 \cdot 360}{36} = 20$ электрических градусов.

Расстояние между началами фаз $\frac{120}{20} = 6$ пазовых делений, например 1—7—13.

Чтобы облегчить чтение схемы, места разрывов лобовых частей на обеих ее сторонах обозначены буками *а*, *б*, *в*, *г*. При переходе от правой стороны схемы к левой надо подбирать одинаковые буквы.

На рис. 75 показана схема того же статора, но с двумя параллельными ветвями. Сравнивая схемы, изображенные на рис. 74 и 75, видим, что направления стрелок на проводах обмотки остались без изменения. Поэтому не изменилось и число полюсов. Но шаг у этой обмотки имеет укорочение не на один, а на два паза и верхний провод 1-го паза соединен с нижним проводом 8-го. Выводные концы фаз остались на прежних местах, т. е. выходят из пазов 1—7—13.

Упражнения. Начертить схемы двухслойных обмоток по следующим данным:

1) $z = 12$, $2p = 4$, $y_z = 3$;
2) $z = 18$, $2p = 2$, $y_z = 8$;
3) $z = 24$, $2p = 2$, $y_z = 10$;
4) $z = 36$, $2p = 6$, $y_z = 5$.

§ 30. ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов на полюс и фазу не всегда бывает целым числом. Часто встречаются обмотки, у которых число пазов на полюс и фазу выражается целым числом с дробью. В асинхронных двигателях дробное число пазов на полюс и фазу обычно получают в тех случаях, когда один и тот же статор обматывают на разное число полюсов. Тогда при одном и том же числе пазов статора число пазов на полюс и фазу для одной

обмотки получается целым, а для другой обмотки — дробным. Приведем пример.

Статор с 36 пазами обматывают на 6 полюсов. Такой двигатель имеет около 1000 об/мин и число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{36}{6 \cdot 3} = 2.$$

Пусть этот же двигатель требуется перемотать на меньшее число оборотов — 750 об/мин, т. е. на 8 полюсов. Тогда число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{36}{8 \cdot 3} = 1\,\frac{1}{2}.$$

В синхронных генераторах, когда число пазов на полюс и фазу меньше четырех, его умышленно делают дробным при проектировании машины. Этим улучшают электрические характеристики машин.

Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу могут быть выполнены как из одиночных катушек, так и из намотанных непрерывным проводом катушечных групп. Разница по сравнению с обмотками, имеющими целое число пазов на полюс и фазу, заключается в том, что при дробном числе обмотку приходится комбинировать из катушечных групп с разными числами катушек. При этом в каждой фазе должно быть одинаковое число пазов, иначе обмотка получится несимметричной.

Обычно обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу комбинируют из двух типов катушечных групп, причем в одной группе число катушек равно целой части числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, а в другой группе число катушек на одну больше.

Например, если число пазов на полюс и фазу равно $2^1/_2$, то обмотку составляют из чередующихся групп, имеющих по две и три катушки. Причем после каждой группы из двух катушек следует группа из трех катушек.

Таким образом, в результате чередования число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{2+3}{2} = \frac{5}{2} = 2\,\frac{1}{2}.$$

Такое простое сочетание катушечных групп получают только в том случае, когда дробная часть числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, равна $^1/_2$. При других дробях комбинирование групп более сложное. Иногда дробное сочетание выражают в виде неправильной дроби $q = \frac{c}{d}$. Для данного примера $c = 5$; $d = 2$.

Для получения симметрии обмотки необходимо, чтобы $\frac{z}{tm}$ равнялось целому числу, где z — число пазов, t — общий наибольший делитель для z и p, m — число фаз.

Это условие является достаточным для двухслойной обмотки. Для однослойной обмотки необходимо, кроме того, чтобы $\frac{z}{2m}$ равнялось целому числу. Обмотка не будет симметричной, если знаменатель дроби равен трем. Тем не менее такие обмотки встречаются на практике.

Катушечные группы в обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу легко распределить при помощи следующей таблицы. На миллиметровке составляют таблицу с числом строк, равным числу полюсов, и числом клеток в строке, равным $3c$, где c — числитель неправильной дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Таблицу разделяют на три одинаковых по ширине столбца с числом клеток в столбце, равным c. Затем в клетки вписывают в последовательном порядке номера пазов с шагом между ними, равным d клеткам, где d — знаменатель дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Составим схему двухслойной обмотки со следующими данными: $z = 27$, $2p = 6$, $m = 3$, $q = 1\frac{1}{2} = \frac{3}{2}$. Для этой обмотки $t = 3$.

$$\frac{z}{tm} = \frac{27}{3 \cdot 3} = 3. \qquad (9)$$

Таким образом, обмотка удовлетворяет условиям симметрии.

Составим таблицу обмотки для разобранного выше примера (табл. 7).

Таблица 7

Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными:

$z=27$; $2p=6$; $q=1\frac{1}{2}=\frac{3}{2}$

Полюсы	Фаза А			Фаза С			Фаза В		
N	1		2		3		4		5
S		6		7		8		9	
N	10		11		12		13		14
S		15		16		17		18	
N	19		20		21		22		23
S		24		25		26		27	

Будем читать горизонтальные строки таблицы и записывать обозначения фаз столько раз, сколько номеров стоит в столбце фазы. Это покажет группировку катушек по фазам:

АА С ВВ А СС В АА С ВВ А СС В АА С ВВ А СС В.

Буквы обозначают фазы, а число одинаковых букв подряд показывает, сколько катушек содержится в катушечной группе. Для данной обмотки необходимо заготовить 9 групп по две катушки и 9 одиночных. Они займут $(9 \cdot 2) + 9 = 27$ пазов. При укладке в пазы следует, согласно группировке, после каждой группы, состоящей из двух катушек, класть группу, состоящую из одной катушки. Схема обмотки показана на рис. 76.

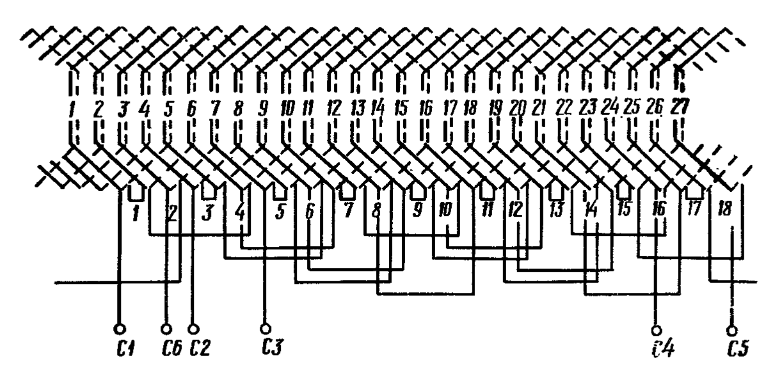


Рис. 76. Схема обмотки статора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Разберем еще один пример.

Обмотка имеет следующие данные

$$z = 84, \quad 2p = 20, \quad m = 3, \quad q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}.$$

Сначала проверим симметрию обмотки. Для z и p есть общий делитель 2. Условие симметрии $\left(\frac{84}{2 \cdot 3} = 14\right)$ выполняется.

Составим таблицу обмотки с данными, приведенными в примере, разобранном выше (табл. 8). Для этого построим таблицу с числом клеток 7 в каждом столбце и начнем вписывать номера пазов с шагом 5, т. е. пропуская по 4 клетки. Таблицу не придется строить для всех 20 полюсов, так как после 5 (по числу d) строк порядок чередования номеров будет повторяться.

По табл. 8 определим порядок чередования катушечных групп: АА С ВВ А С ВВ А СС В А СС В АА С В АА С ВВ и т. д. Катушечные группы расположены в таком порядке: (2—1—2—1—1)—(2—1—2—1—1)—(2—1—2—1—1)... Как видно из порядка чередования, оно через пять цифр повторяется. Значит, порядок укладки групп будет следующий: двойная — одиночная — двойная — одиночная — одиночная и т. д.

Сумма цифр в одном чередовании показывает число катушек; оно равно 7. Всего катушек должно быть 84, поэтому по всей обмотке бу-

Таблица 8

Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными:

$$z = 84,\ 2p = 20,\ m = 3,\ q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$$

Полюсы	Фаза А							Фаза С							Фаза В						
N	1					2					3					4					5
S					6					7					8					9	
N				10					11					12					13		
S			14					15					16					17			
N		18					19					20					21				
S	22					23					24					25					26

дет $\frac{84}{7} = 12$ чередований. В каждом чередовании две двойные группы (из двух катушек) и три одиночные катушки. Всего на статор потребуется 24 группы из двух катушек и 36 одиночных катушек.

При помощи таких таблиц можно определить чередование катушечных групп для любой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Таблица 9

Порядок чередования катушечных групп при дробных числах пазов на полюс и фазу

Число пазов на полюс и фазу	Порядок чередования катушечных групп
$1^1/_2$	(1—2), (1—2), (1—2) и т. д.
$1^1/_4$	(1—1—1—2), (1—1—1—2) и т. д.
$1^3/_4$	(1—2—2—2), (1—2—2—2) и т. д.
$1^1/_5$	(1—1—1—1—2), (1—1—1—1—2) и т. д.
$1^2/_5$	(2—1—2—1—1), (2—1—2—1—1) и т. д.
$1^3/_5$	(1—2—1—2—2), (1—2—1—2—2) и т. д.
$2^1/_2$	(2—3), (2—3) и т. д.
$3^1/_4$	(3—3—3—4), (3—3—3—4) и т. д.
$4^1/_5$	(4—4—4—4—5), (4—4—4—4—5) и т. д.

В табл. 9 показано чередование катушечных групп для наиболее часто встречающихся в практике чисел пазов на полюс и фазу.

Если целое число перед дробью больше 1, то в таблице чередования надо прибавить к каждой цифре разницу между этим числом и единицей. Так, например, при $q = 1\,\frac{1}{2}$ в таблице чередуются катушечные группы из 1 и 2 катушек (1—2), а при $q = 2\,\frac{1}{2}$ при такой же последовательности чередуются катушечные группы из 2 и 3 катушек (2—3).

Цифры в данной таблице чередуются не в беспорядке, а определенными периодами. Число цифр в периоде равно знаменателю неправильной дроби d, а сумма цифр в периоде равна числителю неправильной дроби c. Например, при $q = 1\,\frac{3}{5} = \frac{8}{5}$ период состоит из пяти цифр (1—2—1—2—2). Сумма этих цифр равна 8, т. е. числителю дроби. В табл. 9 периоды поставлены в скобки.

§ 31. УПРОЩЕННЫЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ И ТАБЛИЦЫ ОБМОТОК

После укладки катушек в пазы статора приступают к соединениям их выводов. У статора с жесткой обмоткой из катушек выходят два вывода, так как у каждой катушки имеется начало и конец. Поэтому сначала надо соединить катушки в катушечные группы. Катушки соединяют в группы последовательно.

Самая ответственная операция — соединение катушечных групп в фазах. Эта операция требует от обмотчика теоретических знаний, умения разбираться в схемах и практических навыков. В условиях серийного производства, когда изо дня в день идут одни и те же машины, порядок соединения запоминается и почти механически выполняется. Но часто в цех попадают новые машины индивидуального исполнения, иногда без подробных чертежей и схем. В таких случаях обмотчик должен использовать свой опыт и знания.

Для выполнения соединений обмотчик пользуется схемами. При отсутствии схемы на данную машину он должен ее составить, прежде чем приступить к соединению катушечных групп. До сих пор при изучении обмоток мы рассматривали развернутые схемы. Но для практического пользования они не удобны. Во-первых, развернутую схему трудно начертить для машины с большим числом пазов. Во-вторых, если начертить на развернутой схеме все катушки и их соединения, то в ней легко запутаться. Поэтому для практических целей пользуются упрощенными схемами.

Если составлять развернутые схемы на все типы машин, то их получится огромное количество. Действительно, развернутые схемы будут разными при разных z, y_z и q. При соединении катушечных групп в фазах обмотчик имеет дело только с началами и концами этих групп. Для выполнения соединений совершенно необязательно знать,

каким шагом были намотаны катушки и сколько катушек заключено в группе.

Основным элементом при выполнении соединений является катушечная группа, а точнее ее начало и конец. На основании этого можно прежде всего упростить изображение группы, заменив ее двумя квадратиками (рис. 77, *а*), из которых один обозначает начало, а другой — конец группы. Соединительная линия между ними и будет условно

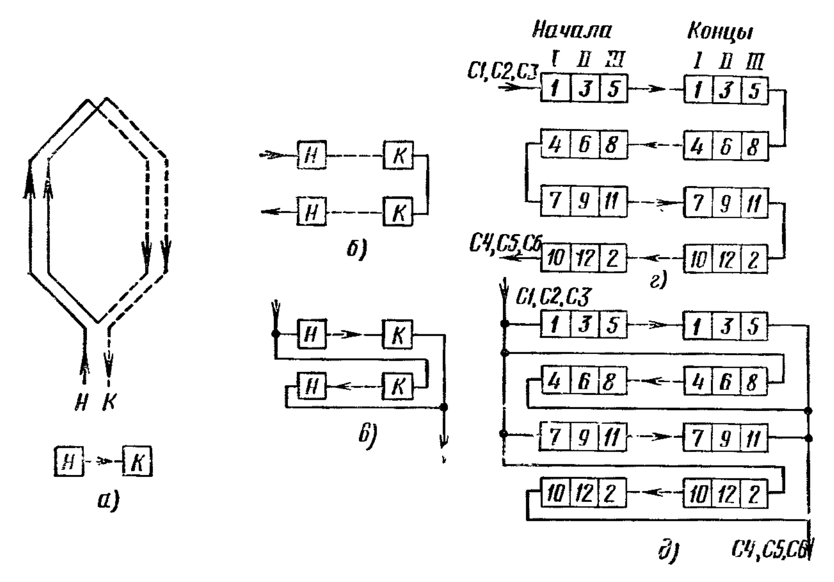


Рис. 77. Упрощенные схемы соединений обмотки статора:

а — схема катушечной группы, *б* — последовательное соединение двух групп, *в* — параллельное соединение групп, *г* — схема обмотки с последовательным соединением групп, *д* — схема обмотки с параллельным соединением групп

изображать электрическую цепь катушечной группы с обозначением стрелкой направления тока. На рис. 77, *б* показано последовательное, а на рис. 77, *в* — параллельное соединение катушечных групп. При этом соблюдено правило параллельного соединения, которое было показано на рис. 72, *в*.

Приняв такие условные обозначения, можно перейти к схеме обмотки статора машины трехфазного тока. При укладке катушечных групп они размещаются в пазах подряд. При соединении же их надо отделить группы *I*, *II* и *III* фаз. Если мы посмотрим на любую развернутую схему обмотки до выполнения соединений, то увидим, что выводы из катушечных групп правильно чередуются: начало, конец, начало, конец и т. д. Если какую-нибудь произвольно выбранную катушку мы отнесем к *I* фазе, то следующая группа этой фазы будет иметь номер 4, следующая за ней — номер 7, и т. д. Это объясняется тем, что промежуточные номера принадлежат другим фазам. Таким образом, одну фазу можно изобразить двумя столбиками из квадратиков с номерами 1, 4, 7, 10 и т. д.

Теперь надо найти номер первой катушки *II* фазы. Он должен быть сдвинут на 120 электрических градусов от начала *I* фазы. Это соответствует расстоянию, занятому двумя катушечными группами, поэтому разность номеров групп между началами фаз будет всегда 2. В любой схеме группа 2 представляет собой конец *III* фазы.

Чтобы изобразить трехфазную обмотку, расположим три столбика квадратиков, обозначающих начала фаз, рядом, хотя они между собой и не соединяются электрически. Аналогично расположим столбики концов фаз. Такая схема будет универсальной для всякой трехфазной обмотки независимо от ее шага и числа пазов на полюс и фазу. Число полюсов определяется числом квадратиков в вертикальном столбике.

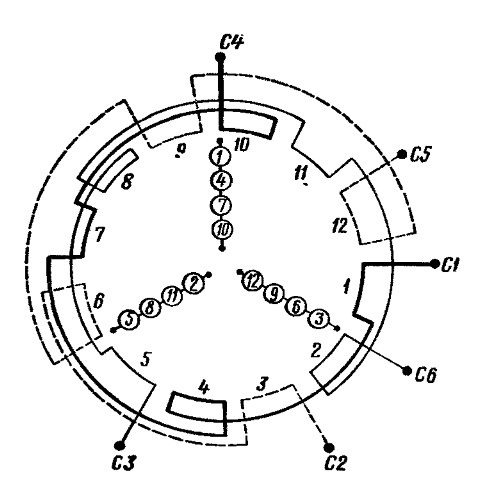


Рис. 78. Упрощенная торцовая схема

Теперь осталось обозначить способы соединения катушечных групп в фазах. На рис. 77, *г* показано последовательное соединение групп, на рис. 77, *д* — параллельное соединение групп в четырехполюсной обмотке. На основании таких схем можно просто выполнить соединения катушечных групп. Обмотчик отгибает выводы *I* фазы, идущие от групп 1, 4, 7, 10. Начало первой группы пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено *С1*.

Затем согласно правилу соединений в двухслойных обмотках будут соединены: конец первой катушечной группы с концом четвертой; начало четвертой группы с началом седьмой; конец седьмой группы с концом десятой. Если машина четырехполюсная, то начало группы 10 пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено *С4* (конец *I* фазы). Соединения во *II* и *III* фазах выполняют аналогично.

Теперь посмотрим, как произвести параллельное соединение катушечных групп в этой же обмотке (рис. 77, *д*). Для этого в *I* фазе надо присоединить к одному проводу начала групп 1 и 7 и концы групп 4 и 10. Ко второму проводу присоединяют концы групп 1 и 7 и начала групп 4 и 10. Как видно по направлению токов в катушечных группах, полярность катушек при параллельном соединении сохраняется той же, что была при последовательном соединении.

По аналогии можно составить схемы для других обмоток.

Схемы, показанные на рис. 77, очень простые, но лишены наглядности. Действительно, схема в виде рядов квадратиков не имеет никакого сходства со статором, на котором расположены катушки обмотки. Это усложняет пользование схемами, особенно для начинающих обмотчиков. Поэтому большое распространение получили торцовые схемы, построенные по тому же принципу. Катушечные группы изобра-

жают в виде дуг окружности (рис. 78) и нумеруют так же, как на схеме, изображенной на рис. 77. Между группами указывают их соединения, которые в таком виде очень наглядны. В центре схемы показано соединение фаз обмотки, где катушечные группы условно обозначены кружочками. Упрощенные торцовые схемы получили большое распространение на многих заводах электропромышленности.

В заводской практике широко используют таблицы обмоток. В них отсутствуют всякие изображения обмотки, а имеются только цифры, обозначающие начала и концы катушечных групп. Чтобы уяснить себе табличный способ соединения групп, рассмотрим простейшую развернутую схему двухслойной обмотки, изображенную на рис. 73. На этой схеме сверху проставлены номера катушечных групп. Как во всякой двухслойной обмотке, число групп равно $2pm = 6$. Каждая группа имеет начало и конец. Таким образом, в этой обмотке 12 выводных концов. Пронумеруем их, исходя из следующего правила:

№ 1 — начало первой катушечной группы;
№ 2 — конец » » »
№ 3 — начало второй » » »
№ 4 — конец » » » и т. д.

Тогда на схеме номера выводов будут расставлены в следующем порядке: 1—8—3—10—5—12—7—2—9—4—11—6.

Как показано на схеме, на дощечку зажимов выведены номера 1, 3, 5, 7, 9, 11. Согласно правилу соединения в двухслойных обмотках перемычки должны соединять одноименные выводы катушечных групп — в данной схеме концы с концами. Эти перемычки, как показано на схеме, соединяют следующие номера выводов: 2—8; 4—10; 6—12. Соединения обмоток приведены в табл. 10.

Таблица 10

Таблица соединений двухслойной петлевой обмотки

Число полюсов	Число параллельных ветвей	Соединения катушечных групп	Соединения на дощечке зажимов
2	1	2—8, 4—10; 6—12	1—С1; 5—С2 9—С3; 7—С4 11—С5; 3—С6

§ 32. СХЕМЫ ОБМОТОК МНОГОСКОРОСТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

У машин трехфазного тока скорость вращения зависит от числа полюсов. При частоте 50 Гц ток в проводах обмотки меняет направление 100 раз в секунду. Если обмотка выполнена на два полюса, то при частоте 50 Гц ротор должен вращаться со скоростью 50 об/с или 3000 об/мин. В четырехполюсной машине при одном обороте ротора в обмотке происходят изменения направления тока, соответствующие

двум периодам. Поэтому скорость вращения ротора уменьшается вдвое.

Скорость вращения для машины с любым числом пар полюсов p можно определить по формуле

$$n = \frac{3000}{p} \text{ об/мин.} \qquad (10)$$

Для синхронных машин формула дает действительное число оборотов ротора, а для асинхронных двигателей — условное, так как вследствие скольжения ротора он вращается с несколько меньшей скоростью. Как видно из формулы (10), изменяя число полюсов, можно изменять числа оборотов ротора. На этом принципе основана работа многоскоростных асинхронных электродвигателей, применяемых в металлорежущих станках, на элеваторах, и транспортерах, в подъемных, крановых и насосных установках.

Применение многоскоростных электродвигателей позволяет упростить передачи; повысить производительность установок; устранить шумы и вибрации от работы зубчатых передач; упростить автоматическое управление процессами пуска, останова, реверсирования и торможения и, наконец, что очень важно, повысить к.п.д. установки благодаря снижению потерь в передачах.

Многоскоростные электродвигатели могут быть выполнены на 2; 3 или 4 скорости. Чтобы избежать сложных устройств для переключения обмотки ротора, многоскоростные двигатели выполняют с короткозамкнутым ротором. Однако при этом надо следить за тем, чтобы не образовалось неблагоприятное соотношение чисел пазов статора и ротора для данного количества полюсов.

Двухскоростные электродвигатели можно разделить по кратности отношения скоростей на электродвигатели с отношением скоростей кратным и некратным двум. Первые почти всегда выполняют с одной обмоткой, которая переключается на разные числа полюсов, вторые — с двумя отдельными обмотками. Чтобы можно было переключать числа полюсов, обмотка должна иметь шесть выводов на дощечке зажимов и дополнительные отводы от середины каждой фазы. На рис. 79 показаны схемы переключения числа полюсов обмотки.

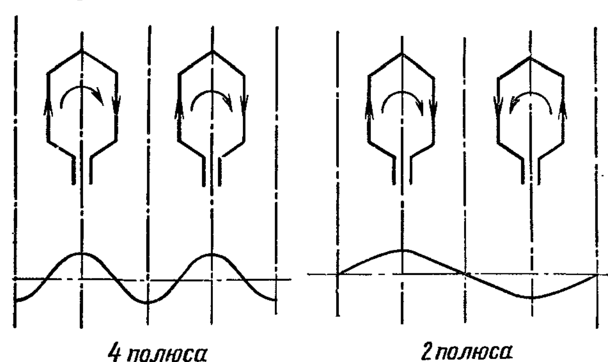


Рис. 79. Схема переключения числа полюсов обмотки

Общие принципы обмоток с переключением числа полюсов заключаются в следующем. Если необходимо иметь две скорости вращения при отношении их 2 : 1, то числа полюсов должны находиться в отношении 1 : 2. Например, если синхронные скорости двигателей должны быть 1500 и 750 об/мин, то обмотка должна создавать числа полюсов 4 и 8. По отношению к меньшему числу полюсов — это петлевая обмотка с последовательным соединением катушечных групп и с шагом,

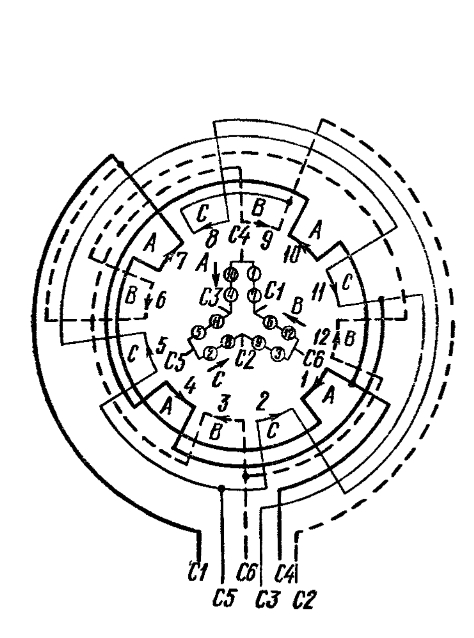


Рис. 80. Схема обмотки двухскоростного двигателя с постоянным вращающим моментом

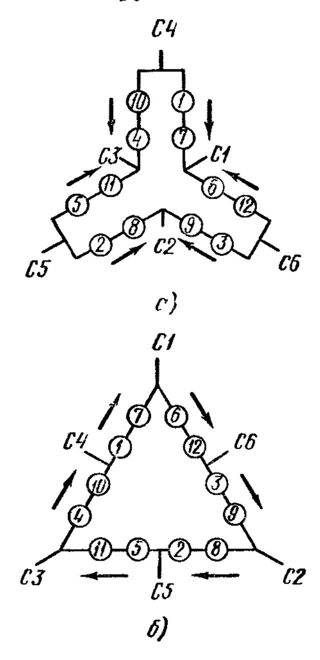


Рис. 81. Принципиальные схемы соединений обмотки двухскоростного двигателя:

а — включение на четыре полюса, *б* — включение на восемь полюсов

близким к половине полюсного деления. Удвоение числа полюсов получается при изменении направления тока в одной из ветвей фазы. Полюсное деление при этом уменьшается вдвое, а шаг обмотки близок к полюсному делению.

В зависимости от условий работы электродвигателя предъявляют два основных требования к полюсопереключаемой обмотке. В одном случае для обеих скоростей нужен неизменный вращающий момент двигателя. В виде примера можно привести электродвигатель для привода воздушного компрессора, у которого необходимый вращающий момент не меняется при изменении скорости. Мощность такого двигателя возрастает пропорционально скорости вращения. В другом случае мощность двигателя должна оставаться постоянной при изменении скорости вращения. Примером могут служить двигатели свер-

лильных станков. Эти требования выполняют путем соответствующего соединения фаз обмотки.

В качестве примера полюсопереключаемой обмотки возьмем асинхронный двигатель с обмоткой, переключаемой на 4 и 8 полюсов при 72 пазах статора. В этой обмотке число пазов на полюс и фазу по формуле (3):

$$q = \frac{72}{4 \cdot 3} = 6;$$

число катушечных групп

$$k = 3 \cdot 4 = 12;$$

шаг обмотки по пазам

$$y_z = 72 : 8 = 9 (1 - 10).$$

На рис. 80 показана схема этой обмотки для постоянного вращающего момента при обеих скоростях вращения. Рассмотрим фазу *А*. Из четырех катушечных групп этой фазы группы 1 и 7, лежащие под полюсами одной и той же полярности, соединяют последовательно. Также соединяют последовательно катушечные группы 4 и 10, лежащие под полюсами противоположных полярностей. Выполнив аналогично соединения для других фаз, получим по две ветви в каждой фазе. На рис. 81, *а* изображена принципиальная схема соединений этой обмотки на четыре полюса. Она представляет собой двойную звезду. К трехфазной сети присоединяют выводы *С4*, *С5*, *С6*; выводы *С1*, *С2*, *С3* замыкают между собой.

Переключение на восемь полюсов может быть получено соединением двенадцати катушечных групп в треугольник (рис. 81, *б*). При этом меняется направление тока в группах 4 и 10; 6 и 12; 2 и 8. Для соединения с трехфазной сетью надо выводы *С1*, *С2*, *С3* присоединить к сети, а выводы *С4*, *С5*, *С6* оставить разомкнутыми.

При необходимости получить для обеих скоростей вращения постоянную мощность надо соединить обмотку по схеме, показанной на рис. 82. При этом соединение с сетью должно быть в треугольник для четырех полюсов и в двойную звезду для восьми полюсов. Рекомендуется учащимся самостоятельно построить принципиальные схемы для этого случая, подобно схеме, изображенной на рис. 82.

При отношении скоростей, некратном двум, обычно применяют две раздельные обмотки. В машинах малой мощности с мягкими катушками две двухслойные обмотки вкладывают в пазы одну над другой, получая таким образом четыре слоя в пазах и лобовых частях. Для двигателей большей мощности обе обмотки укладывают таким образом, чтобы получилось два слоя как в пазах, так и в лобовых частях. Обмотки получаются как бы встроенными одна в другую.

Если в нечетных пазах на дне лежат стороны катушек для меньшего числа полюсов, а над ними стороны катушек для большего числа полюсов, то в четных они меняются местами. Для выполнения этого

требования число пазов статора должно быть четным, все катушки должны иметь одинаковый шаг, выражающийся нечетным числом, и толщины катушек должны быть примерно одинаковыми. Соединения обмоток производят на противоположных сторонах статора.

Разберем пример. Отношение скоростей 3 : 2, а значит отношение чисел полюсов 2 : 3. Числа полюсов в данном примере 8 и 12, число пазов статора 144. Полюсное деление восьмиполюсной обмотки равно 144 : 8 = 18 пазовым делениям, а для двенадцатиполюсной обмотки 144 : 12 = 12 пазовым делениям. Шаг обмотки выбирают меньше полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов и больше полюсного деления обмотки с большим числом полюсов. В данном случае можно взять шаг, равный 13 пазовым делениям (1—14). При этом шаг составляет 13 : 18 × 100 = = 72% полюсного деления восьмиполюсной обмотки и 13 : 12 × 100 = = 108% полюсного деления двенадцатиполюсной обмотки.

Рассмотрим еще один пример. Отношение скоростей 7 : 5, т. е. отношение чисел полюсов 5 : 7. Числа полюсов в данном примере 10 и 14, число пазов статора 168. Полюсное деление десятиполюсной обмотки равно 168 : 10 = 16,8 пазового деления, а четырнадцатиполюсной обмотки 168 : 14 = 12 пазовых делений. Шаг обмотки может быть выбран равным 13 пазовым делениям (1—14). При этом шаг обмотки составляет 13 : 16,8 × 100 = 77,4% полюсного деления для десятиполюсной обмотки и 13 : 12 × 100 = 108% полюсного деления для четырнадцатиполюсной обмотки.

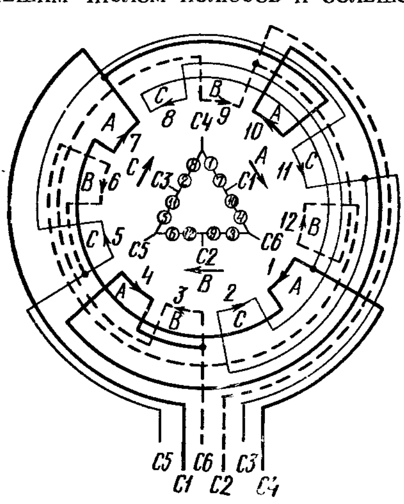


Рис. 82. Схема обмотки двухскоростного двигателя с постоянной мощностью

Для получения постоянного вращающего момента надо обмотку с бо́льшим числом полюсов соединить в звезду, а с меньшим числом полюсов — в треугольник. Чтобы получить постоянную мощность, следует обе обмотки соединить в звезду. Чтобы не появлялись токи при включении одной из обмоток, надо разомкнуть все контуры в другой обмотке. Такими контурами могут быть треугольник или параллельные ветви двойной звезды.

Если требуется три скорости, из которых две имеют отношение 2 : 1, то могут быть использованы две встроенные одна в другую обмотки, рассмотренные выше. Наиболее часто встречающиеся отношения чисел полюсов 4/6/8; 6/8/12; 8/12/16 и 12/16/24. Здесь также надо размыкать все контуры одной обмотки при включении другой.

Если требуются четыре скорости, две из которых имеют отношение 2 : 1, то используют две различные обмотки. Возможны два способа получения четырех скоростей:

1) обмотки размещаются в пазах в четыре слоя, причем два верхних слоя принадлежат одной обмотке, а два нижних — другой;

2) используют две встроенные обмотки, наматывая каждую через один паз.

Типичным примером четырехскоростного двигателя может служить двигатель с отношением чисел полюсов 6/8/12/16.

§ 33. УКЛАДКА В ПАЗЫ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК

Укладку в пазы всыпных обмоток статора производят вручную. Катушки обмотки укладывают в пазы группами так, как они были намотаны на шаблоне. Укладку выполняют следующим образом. Провода обмотки распределяют в один слой и вкладывают стороны катушек, прилегающие к дну паза. Другие стороны катушек не вкладывают

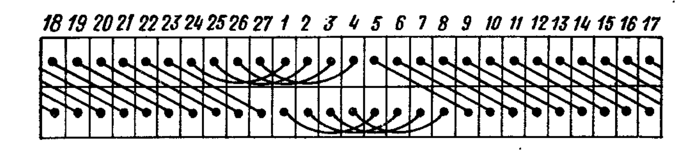


Рис. 83. Схема укладки катушек в пазы

в пазы до тех пор, пока не будут вложены нижние стороны катушек во все пазы, охватываемые шагом обмотки. После этого следующие катушки вкладывают в пазы одновременно нижними и верхними сторонами.

При укладке двухслойной обмотки статора машин малых размеров затрудняют работу стороны катушек, которые остаются не вложенными в пазы в процессе укладки катушек первого полюсного деления. Рационализаторы-обмотчики предложили для таких машин порядок укладки катушек в пазы, схематически показанный на рис. 83, при котором первые катушки кладут в пазы сразу двумя сторонами и осаживают на дно пазов. После того как уложены катушки, охватывающие шаг обмотки, следующие катушки укладывают одной стороной на дно паза, а другой — в верхнюю часть паза. Последние катушки укладывают обеими сторонами в верхние части пазов.

Одним из средств подъема производительности труда при укладке всыпных обмоток статора асинхронных двигателей является разделение процесса на отдельные части со специализацией обмотчиков на определенных операциях. Это увеличивает производительность труда не менее чем на 30%. Во всяком статоре первые катушки укладывать значительно легче, чем следующие, у которых труднее укладывать лобовые части. Поэтому на разных рабочих местах укладывают разное число катушек в одно и то же рабочее время. Это является необходимым условием для организации поточного производства, определяющим ритм работы конвейера.

На рис. 84 показан обмоточный конвейер пластинчатого типа для обмотки статоров крановых электродвигателей на заводе «Динамо». Ввиду того, что производственная программа может меняться, рабочие места приспособлены для обмотки двух соседних по мощности габаритов двигателей. После окончания обмотки статоры поступают на испытательную станцию. Годные подвешиваются на крюки пропиточного конвейера, а неисправные возвращаются для ремонта.

В процессе обмотки статоров есть операции, требующие затраты значительных усилий. Так, например, поворачивать статор вручную тяжело. При поворотах краном много времени уходит на ожидание

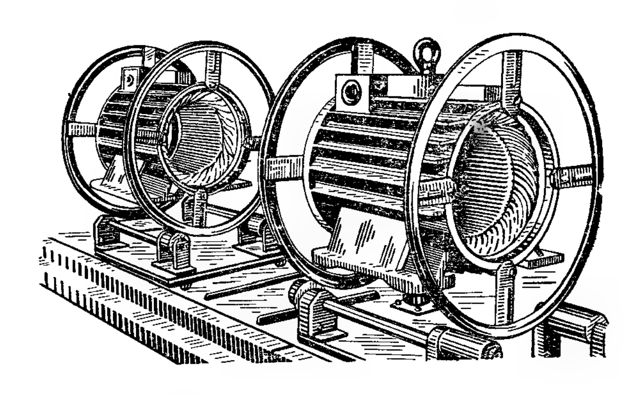


Рис. 84. Обмоточный конвейер для обмотки статоров

крана. На конвейере предусмотрены приспособления для поворота статора. Круглые поворотные столы на шариковых опорах позволяют одному обмотчику укладывать лобовые части на обоих торцах статора, поворачивая его к себе то одной, то другой стороной. Для поворотов вокруг горизонтальной оси к торцам статора крепят специальные кольца, которые опираются на ролики поворотного приспособления. Таким образом, поворачивая статор, обмотчица может вкладывать в пазы все катушки в удобном для нее положении статора.

На рис. 85 показан кантователь для обмотки статоров асинхронных двигателей единой серии 8 и 9-го габаритов массой до 600 кг. Кантователь представляет собой стальное кольцо *11*, установленное на раме *13* и опирающееся на четыре желобчатых ролика. Один из роликов *8* приводной, а остальные три — направляющие. К кольцу консольно приварена опорная площадка *9* для установки статоров. Консольное расположение площадки позволяет легко ставить и снимать краном обматываемые статоры. На площадке имеются два диагонально расположенных штифта *1*, которые при установке входят в отверстия в лапах станины *14*. В два других отверстия вставляют болты *10*, крепящие станину к площадке.

Кантователь приводится от электродвигателя *2*, который через шкив *3* клиноременной передачи *5* вращает червячный вал *6* редуктора *7*. Натяжение ремней регулируется болтами *4*. Вал червячной шестерни

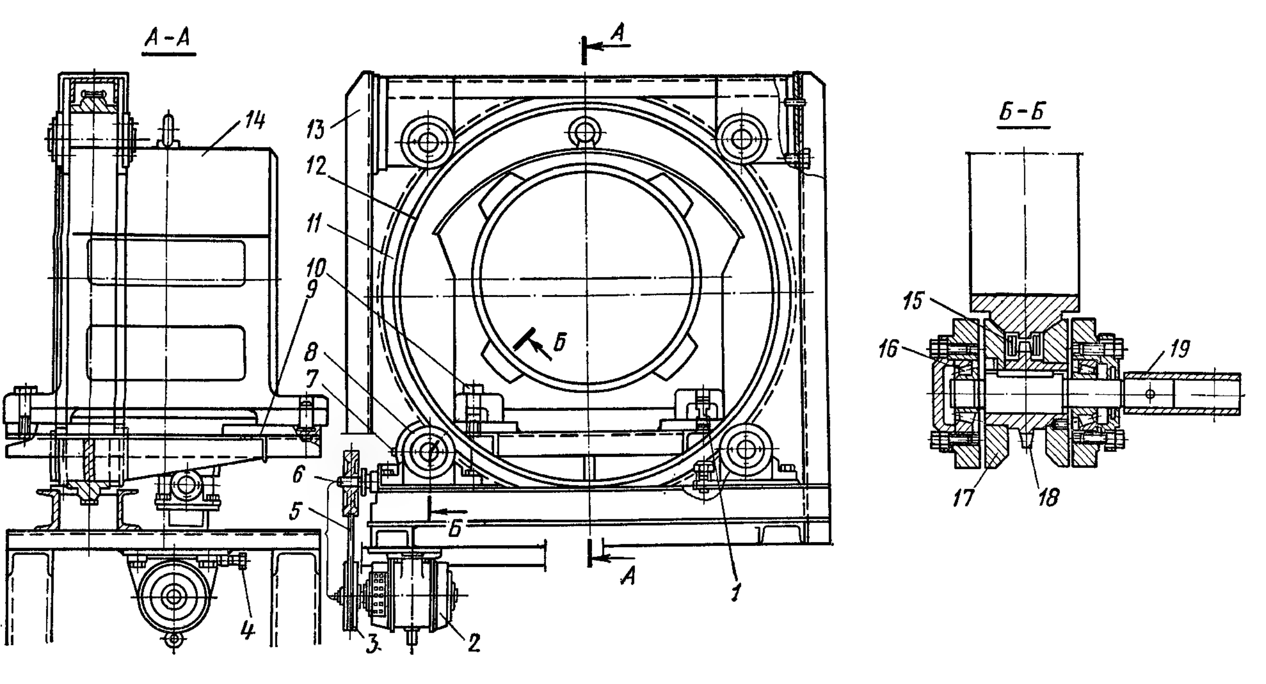


Рис. 85. Кантователь для обмотки статоров 8 и 9-го габаритов

редуктора соединен жесткой муфтой *19* с осью ведущего ролика *17*. В желобке этого ролика помещена ведущая звездочка *18*, которая входит в зацепление со звеньями стальной цепи *15*, обтягивающей обод кольца *12*. Ролики *17* вращаются на подшипниках качения *16*.

Время полного поворота кольца составляет 20 с. Привод реверсивный, что позволяет вернуться к пройденной части окружности статора.

§ 34. УКЛАДКА ОБМОТОК СТАТОРА В ОТКРЫТЫЕ ПАЗЫ

В открытые пазы вкладывают катушки машин напряжением 3 и 6 кВ. В отличие от всыпных обмоток эти катушки изолированы микалентой и компаундированы. Поэтому пазовые гильзы в таких машинах отсутствуют или представляют собой однослойную коробочку из электрокартона, служащую для механической защиты изоляции катушки при укладке в пазы.

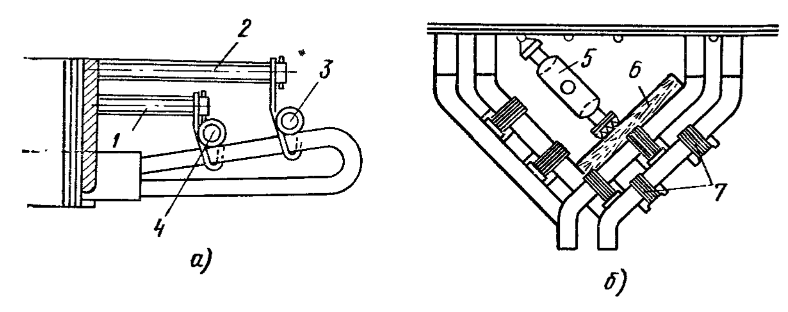


Рис. 86. Укладка обмотки в пазы:
а — крепление лобовых частей, *б* — рихтовка лобовых частей

Перед укладкой катушек пазы тщательно осматривают, очищают от заусенцев и выступающих листов, так как в высоковольтных обмотках они могут служить причиной пробоя изоляции. После этого их продувают сжатым воздухом из шланга, покрывают лаком при помощи кисти или пульверизатора и просушивают на воздухе.

Затем устанавливают бандажные кольца, которых может быть от одного до четырех с каждой стороны статора (в зависимости от длины лобовых частей). В нажимные плиты сердечника статора ввинчивают шпильки *2*, изолированные миканитом *1* (рис. 86, *а*). Так как лобовые части обмотки образуют коническую поверхность, то бандажные кольца *3* и *4* должны быть разных диаметров. Каждое бандажное кольцо крепят к ряду шпилек стальными ушками, приваренными к кольцам. Этими ушками кольца надевают на шпильки и завертывают гайками. В машинах малой мощности бандажные кольца не крепят к шпилькам.

Бандажные кольца изолируют до постановки их на статор лентой из лакоткани и микалентой, а поверх — киперной лентой. Эти кольца

защищают лобовые части катушек от деформаций под действием электродинамических усилий при протекании через обмотку больших токов и помогают ровнее уложить лобовые части обмотки. Укладку катушек выполняют два обмотчика, стоящие с торцов статора. Катушки обычно выполняют так, что если смотреть со стороны выводов, то правые стороны катушек ложатся на дно паза (правые катушки).

При укладке первых катушек в открытые пазы нельзя оставлять левые части не вложенными в пазы, так как они могут быть повреждены и помешают укладке других катушек. Поэтому катушки первого шага обмотки кладут так, что правые стороны ложатся на дно пазов, а левые стороны находятся временно в верхнем слое других пазов, отстоящих от первых на величину шага обмотки. Чтобы сделать миканитовую изоляцию катушек более упругой, их нагревают до 85—90° С, пропуская ток.

При укладке следующей катушки правая ее сторона ложится на дно пустого паза, а левая — в паз, в котором уже лежит правая сторона другой катушки. Между катушками в паз вкладывают прокладки из электрокартона или другого изоляционного материала. Так же вкладывают и следующие катушки, пока в процессе укладки обмотчики не дойдут до последних катушек. Тогда нагревают временно вложенные левые стороны катушек первого шага, пропуская через них ток, и поднимают их из пазов.

При этом в лобовых частях катушек получаются перегибы. Вкладка этих катушек особенно трудна и требует осторожности, так как обычно нарушается изоляция именно этих катушек. Затем вкладывают в пазы обеими сторонами последние катушки и снова опускают в пазы поднятые левые стороны катушек первого шага. На этом процесс укладки катушек в пазы заканчивается.

При укладке в пазы пользуются следующими приемами. Стороны катушки опускают до уровня расточки статора легкими ударами молотка через подушку, состоящую из нескольких полос картона, обвитых хлопчатобумажной лентой. Осаживают катушку на дно паза ударами по осадочной доске, толщина которой равна ширине паза, а длина — длине пазовой части катушки.

Для окончательного осаживания стороны катушки на дно паза в его «ласточкин хвост» с обеих сторон вставляют стальные клинья. Катушки опускаются под давлением двух встречных деревянных клиньев, которые забивают в паз с двух сторон статора. При этом катушка опускается параллельно дну паза и не перегибается. Все эти операции оба обмотчика производят одновременно над обеими сторонами катушки, чтобы она не деформировалась.

После заклиновки лобовые части привязывают шнуром к бандажным кольцам. Под шнур подкладывают прокладки из электрокартона. В процессе укладки катушек рихтуют лобовые части. Для этого к ним прикладывают деревянную планку *6* (рис. 86, *б*), в середину которой ставят домкрат *5*, чтобы отвести и выправить лобовую часть. Другим концом домкрат упирается в нажимной палец, прессующий зубец статора. В середине домкрата имеется отверстие для стального прута, которым поворачивают гайку. Лобовые части рихтуют, пока катушки еще

не остыли. Окончив рихтовку, привязывают лобовые части к бандажным кольцам.

Лобовые части высоковольтных машин располагают не вплотную, как на якоре или во всыпных обмотках статора, а с промежутками. Перекрещивающиеся слои лобовых частей образуют решетку для циркуляции охлаждающего воздуха. Чтобы придать обмотке жесткость и выдержать равномерные зазоры между лобовыми частями, к ним привязывают шнуром деревянные дистанционные прокладки *7*. Их располагают на лобовых частях соседних катушек в шахматном порядке, как показано на рисунке.

После укладки всех катушек и крепления лобовых частей в пазы поверх катушек ставят прокладки, заклинивают пазы текстолитовыми клиньями и испытывают витковую и корпусную изоляции. Производительность труда и качество укладки обмотки крупных машин в пазы статора во многом зависят от того, насколько статор может быть поставлен в удобное для обмотчиков положение. Перекантовывать вручную статор крупной машины невозможно.

На Харьковском электромеханическом заводе разработана конструкция кантователя для статоров массой 10—15 т. Он имеет два консольных вала *2* (рис. 87), поверхность которых покрыта резиной. На эти

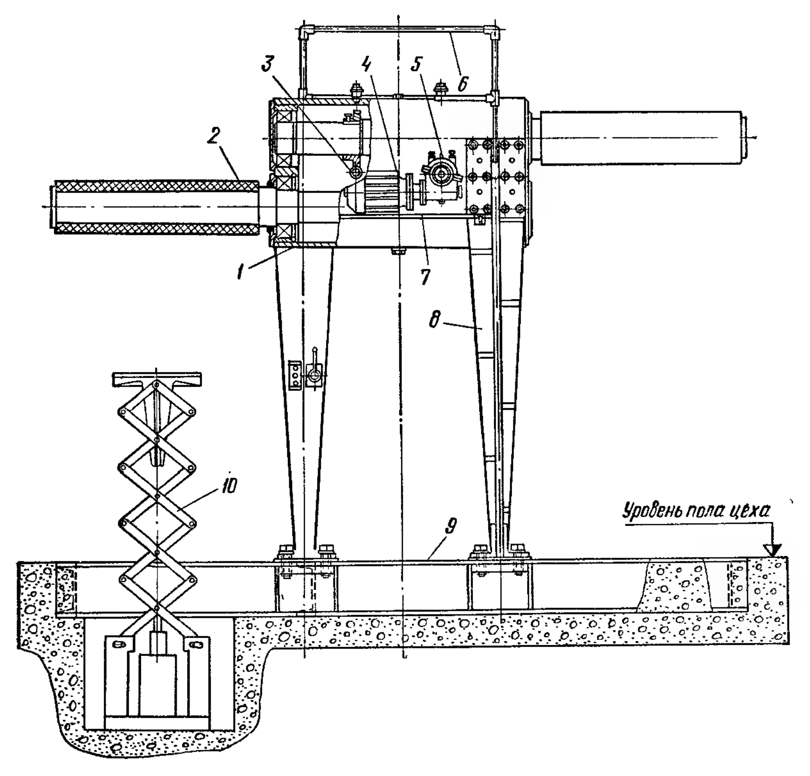


Рис. 87. Кантователь для обмотки крупных машин

валы навешивают внутренней поверхностью обматываемые статоры. Валы имеют привод от электродвигателя *4* через редуктор *5* и червячную пару *3*. Все механизмы помещены в корпусе *1* на площадке *7* и защищены ограждением *6*. Кантователь установлен на сварной стойке *8*, которая укреплена на фундаментной плите *9*. Скорость вращения вала 1,5 об/мин. Статор перекатывается благодаря силе трения между его сердечником и валом.

Кантователь предназначен для статоров с диаметром расточки от 810 до 1850 мм и длиной сердечника до 1018 мм. На нем можно одновременно обматывать два статора. При некоторых операциях, например при забивке клиньев в пазы, статор может раскачиваться на валу. Поэтому в конструкции кантователя предусмотрен механизм поджатия *10*, представляющий собой пневматический цилиндр со штоком, который может упираться в нижнюю точку станины с усилием 100 кгс. Однако практика применения кантователя показала, что при обмотке тяжелых статоров раскачивание незначительное и в ряде случаев можно обходиться и без этого механизма. Кантователи подобной конструкции используют и для других операций, например для продороживания коллекторов крупных машин до насадки коллектора на вал. Применение кантователя повышает производительность труда, делает работу безопасной и менее утомительной.

§ 35. УКЛАДКА В ПАЗЫ ОБМОТОК СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Укладка в пазы обмоток статора турбогенераторов — трудная задача, так как длина стержня достигает 8 м, а масса стержня — 120 кг. До недавнего времени все операции укладки стержней в пазы производились вручную. В настоящее время эти операции в значительной степени механизированы.

Перед укладкой стержней проверяют пазы статора на отсутствие посторонних предметов, заусенцев и выступов. Участок укладки должен быть отгорожен от смежных механических и сборочных мастерских для предохранения от попадания в обмотку металлических стружек, которые обычно вызывают пробой изоляции обмотки.

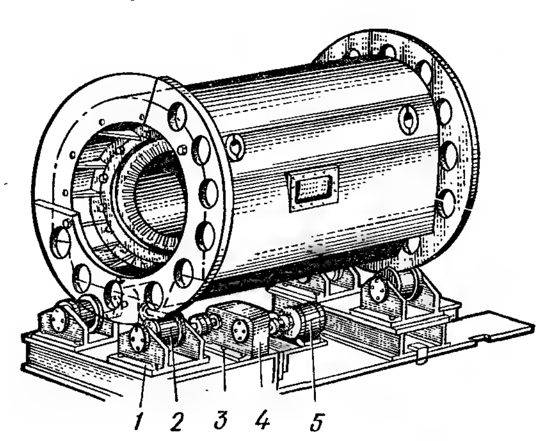


Рис. 88. Кантователь для статоров турбогенераторов

Большое влияние на качество укладки имеет положение статора. Для облегчения работы обмотчиков применяют поворотное приспособле-

ние для статоров турбогенераторов мощностью выше 100 тыс. кВт. Четыре стойки *1* с роликами *2* смонтированы попарно на двух сварных балках *3* (рис. 88). К торцам статора привертывают массивные кольца, которыми он устанавливается на ролики поворотного приспособления. Нижнюю часть корпуса приспособления помещают в яму глубиной около 1,5 м. При этом нижняя часть внутренней поверхности статора возвышается над уровнем пола на 1 м. Один из роликов является ведущим и приводится во вращение электродвигателем *5* через редуктор *4*. Ввиду того что станина турбогенератора имеет лапы

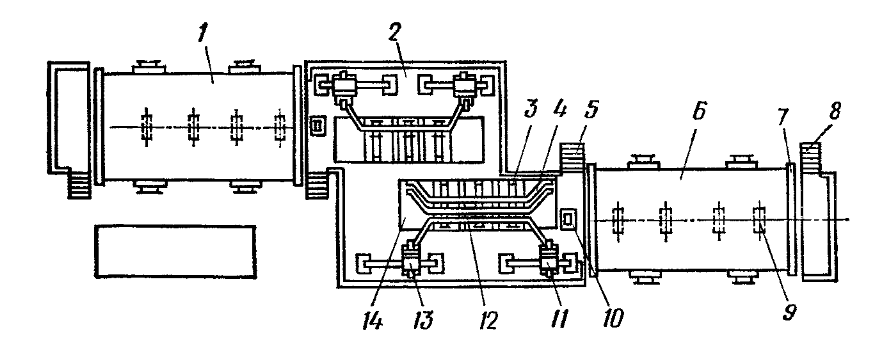


Рис. 89. Установка для одновременной обмотки двух статоров турбогенераторов

и колодки под охладители, расположенные с одной стороны несимметрично относительно горизонтальной оси, корпус статора будет стремиться поворачиваться, пробуксовывая на роликах. Для устранения этого к статору привертывают уравновешивающие грузы массой около 3 т. Благодаря поворотному приспособлению все стержни укладывают в те пазы, которые находятся в нижнем положении.

На Ленинградском электротехническом объединении «Электросила» спроектирована установка для одновременной обмотки двух статоров турбогенераторов *1* и *6* (рис. 89), которые с помощью колец *7* ставят на описанные выше поворотные приспособления. Стержни *12* доставляются в обмоточный цех в специальных ящиках *14*, которые устанавливают на эстакаду *2*. Высоты эстакады и ящиков подобраны так, что стержни лежат в ящиках на уровне внутренней поверхности статора и вводятся в нее в горизонтальной плоскости. Для подъема обмотчиков на эстакаду служат лесенки *5* и *8*. Пазовые части стержней опираются на деревянные брусья *3* ящика, а лобовые части — на деревянные настилы.

Перед укладкой в паз статора стержни нагревают пропусканием тока низкого напряжения. Для этого крайний стержень *12*, приходящийся против середины оси статора, переворачивают на 180° и соединяют его концы с токоподводами *11* и *13* от трансформатора, находящегося под эстакадой. Контроль нагрева стержней производится термо-

метрами сопротивления, прикрепленными к поверхности изоляции. Предварительно к боковым сторонам стержня у начала лобовых частей крепят дистанционные прокладки, определяющие расстояние между соседними стержнями при укладке в пазы. Когда температура на поверхности изоляции достигнет 90—100°С, стержень отключают от токоподводов. Стержень натирают миканитовым мылом и подают в статор вместе с защитным угольником.

Для вдвигания стержня внутрь статора с минимальными усилиями служат роликовые стойки *10*, которые установлены на эстакаде в промежутках между деревянными брусьями. При опускании ящика со стержнями пазовая часть крайнего стержня ложится на ролик *9*, а следующие стержни *4* сдвигаются на ролики по гладкому

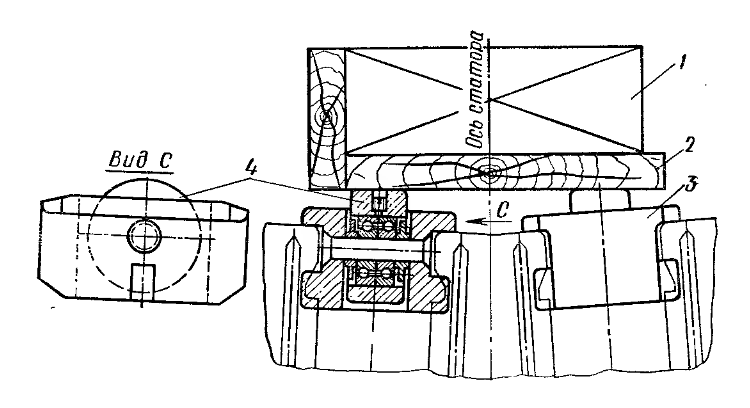


Рис. 90. Закладные ролики в пазах

наклонному щитку из текстолита на дне ящика. При вдвигании стержня в отверстие статора лобовые части обращены кверху.

Продвижение стержня *1* (рис. 90), вдоль статора происходит по закладным роликам *4*, которые своими опорами *3* вставлены в два соседних паза. Для предохранения изоляции стержня служат деревянные угольники *2*, охватывающие две стороны стержня. Перед укладкой в паз стержень снимают с угольника, выравнивают его положение по длине статора и осаживают в паз ударами молотка через подушку, состоящую из нескольких полос картона, обмотанных лентой. На дно паза стержень досылается ударами по осадочной доске. Головки стержня вставляют в углубления в гребенке. Стержни в пазу заклинивают временными деревянными клиньями, а лобовые части привязывают к бандажным кольцам. Аналогично укладывают следующие стержни.

Лобовые части поджимают винтовыми домкратами через деревянные прокладки. Когда стержни из одного ящика будут уложены в пазы, мостовым краном устанавливают на его место следующий ящик со стержнями. После укладки нескольких стержней статор поворачивают и переставляют закладные ролики снова в нижние пазы. После ук-

ладки всех нижних стержней заканчивают расклинивание лобовых частей и испытывают изоляцию уложенных стержней относительно корпуса. Затем приступают к укладке стержней верхнего ряда. При укладке первого стержня регулируют положение токоподводов для нагревания стержней.

Внедрение установки для укладки статорных обмоток повысило качество обмотки и культуру производства, облегчило труд обмотчиков. Трудоемкость укладки обмоток статора снизилась. Количество пробоев изоляции стержней при испытаниях уменьшилось на 40%.

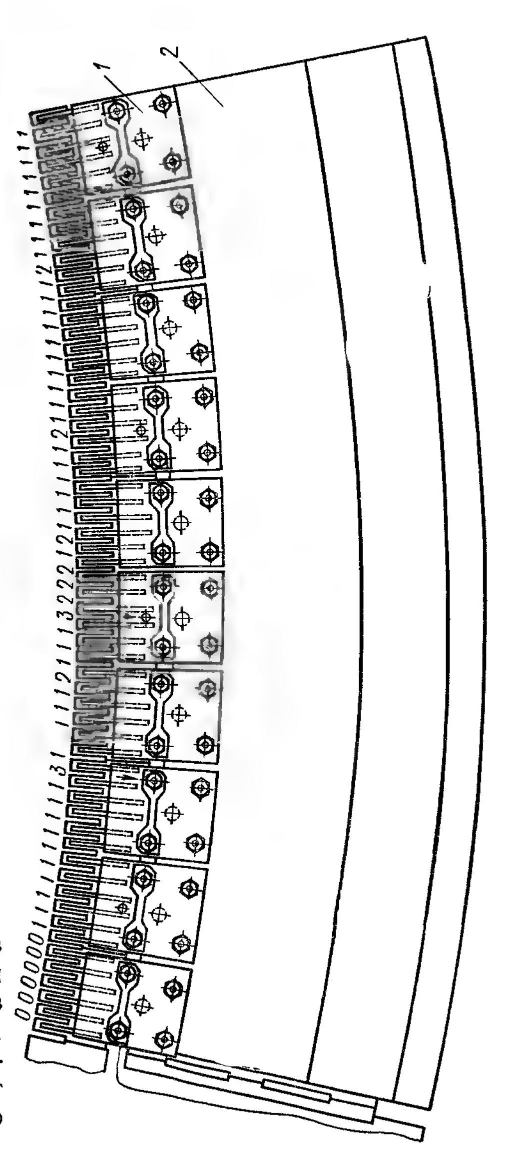


Рис. 91. Шестерка гидрогенератора

§ 36. УКЛАДКА В ПАЗЫ ОБМОТОК СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Укладка в пазы стержней гидрогенераторов значительно проще, чем стержней турбогенераторов. По старой технологии сначала собирали весь статор диаметром до 16 м и затем укладывали в пазы стержни обмотки в вертикальном положении. В связи с повышением точности сборки сейчас отдельно собирают части статора. Обычно окружность статора разделяется на шесть составных частей, называемых шестерками. Их раскладывают на полу цеха и обмотку вкладывают в пазы в горизонтальном положении. Остаются временно незаполненными только те пазы, стержни которых своими лобовыми частями попадают в плоскости разъема. Эти стержни упаковывают в ящики и отправляют на место монтажа гидрогенератора, где их вкладывают в пазы после сборки всего статора в кольцо.

Стержни гидрогенераторов значительно меньше стержней турбогенераторов, и они вкладываются в пазы в удобном для обмотчиков положении. К шестеркам статора обеспечен доступ со всех сторон, что позволяет четырем-шести обмотчикам укладывать несколько стержней одновременно. Перед укладкой в пазы стержни нагревают до 85—95°С.

Стержни обмоток с воздушным охлаждением разделяются на три типа: основные, с прямыми головками для присоединения перемычек и с отогнутыми головками для соединения с выводными шинами. Для ускорения процесса укладки и устранения ошибок при размещении стержней в пазах статор перед укладкой обмотки размечают мелом. На торцах гребенок *1* (рис. 91), которыми спрессованы сегменты сердечника, условными цифрами 1 и 2 обозначают номера типов стержней, а стрелками — направление отводов к выводным шинам. Пазы, в которые стержни будут вкладываться при монтаже шестерок *2* на гидростанции, помечают кружками. В эти пазы забивают доски для предохранения зубцов от повреждений при транспортировке.

Укладка в пазы и рихтовка лобовых частей выполняются аналогично укладке стержней турбогенераторов. Для контроля за нагревом обмоток в эксплуатации в отмеченные пазы вкладывают термометры сопротивления и выводы от них присоединяют к дощечке зажимов. После укладки стержней нижнего ряда на головки надевают хомутики. Стержни верхнего ряда одновременно с укладкой в пазы вставляют головками в хомутики, так как при небольшой длине лобовой части после укладки в пазы вставить головку в хомутик невозможно. Между слоями лобовых частей прокладывают кольца из полосок электрокартона и привязывают лобовые части к кольцам крученым шнуром. По окончании укладки обмотки с помощью лопатки и молотка разделяют провода верхнего стержня в хомутике и для увеличения контактной поверхности вбивают между ними пластину, которая должна располагаться равномерно в головках обоих стержней. Стыки стержней проверяют через контрольное отверстие в хомутике.

При установке пазовых клиньев их располагают так, чтобы при вращении ротора воздух попадал в вентиляционные скосы. Клинья в пазы забивают с двух сторон статора. Плотность забивки клиньев достигается вкладыванием в пазы картонных прокладок. Лобовые части обмотанных шестерок покрывают лаком при помощи пульверизатора, а затем глифталево-масляной эмалью. Сушку продолжают до тех пор, пока эмаль не потеряет липкости.

Испытания электрической прочности изоляции производят после укладки в пазы нижнего ряда стержней и после укладки верхнего ряда до и после пайки головок. Качество пайки головок проверяют на ультразвуковой установке.

Контрольные вопросы

1. На каком расстоянии должны быть расположены начала и концы фаз на статоре?
2. В каком порядке составляют схему двухслойной обмотки статора?
3. Как располагают катушечные группы в обмотках с дробным числом пазов на полюс и фазу?

4. Какие типы упрощенных обмоток вы знаете?
5. Чем отличаются схемы двухскоростных двигателей с постоянным вращающим моментом от схем двигателей с постоянной мощностью?
6. Как производится укладка обмоток статора в открытые пазы?
7. Как устроен кантователь для статоров турбогенераторов?
8. Расскажите об устройстве установки для укладки обмоток статоров турбогенераторов.
9. Как размечают шестерку составного статора гидрогенератора перед укладкой стержней в пазы?

ГЛАВА VII. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ В ПАЗЫ ОБМОТОК ОДНОФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

§ 37. ТИПЫ ОДНОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Однофазные двигатели используют всюду, где нет трехфазного тока. Они находят широкое применение в схемах электромашинной автоматики, и в бытовых электроприборах. Разработаны единые серии однофазных асинхронных двигателей мощностью до 400 Вт. Однофазные асинхронные двигатели изготовляются с короткозамкнутым ротором. При питании обмотки статора переменным током в обмотке ротора наводятся э. д. с., поэтому нет необходимости соединять обмотку ротора с источником питания. Следовательно, у двигателей, с короткозамкнутым ротором нет ни контактных колец, ни щеток, что значительно облегчает уход за ними.

Обмотка статора трехфазного асинхронного двигателя при питании ее трехфазным током создает вращающееся магнитное поле, которое наводит э. д. с. в обмотке ротора. От взаимодействия токов ротора с магнитным полем создается вращающий момент, который заставляет ротор вращаться в ту сторону, в какую вращается магнитное поле статора. Если подключить обмотку статора однофазного двигателя к однофазному переменному току, то она будет создавать пульсирующее магнитное поле, которое можно приравнять к действию двух магнитных полей, вращающихся с синхронной скоростью в противоположные стороны. При неподвижном роторе действия обоих полей равны и ротор не может сдвинуться с места. Поэтому все однофазные асинхронные двигатели снабжены пусковыми устройствами.

Когда ротор начнет вращаться, действия составляющих магнитных полей изменятся. Составляющую, которая вращается в ту же сторону, что и ротор, назовем прямым полем, другую составляющую — обратным полем.

Скорость вращения ротора асинхронного двигателя меньше синхронной скорости на величину скольжения, которое у однофазных двигателей составляет около 10% синхронной скорости. Поэтому стержни обмотки ротора пересекают прямое поле со скоростью скольжения, а обратное поле почти с двойной синхронной скоростью, и в них наводятся токи двойной частоты. При такой частоте сильно возрастает индуктивное сопротивление обмотки ротора, токи будут почти чисто реактивными, не создающими вращающего момента, а только ослабляющими обратное поле.

По принципам устройства однофазные асинхронные двигатели разделяются на следующие основные типы:

двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе;

двигатели с пусковой обмоткой;

двигатели с встроенным сопротивлением;

конденсаторные двигатели.

Наибольшее распространение получили однофазные асинхронные двигатели, с пусковыми обмотками, у которых обмотки не сосредоточены в виде катушек, как у двигателя с короткозамкнутым витком, а равномерно распределены в пазах, проштампованных на внутренней окружности статора, как у трехфазных асинхронных двигателей.

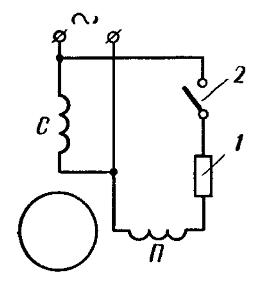


Рис. 92. Принципиальная схема однофазного двигателя с пусковой обмоткой

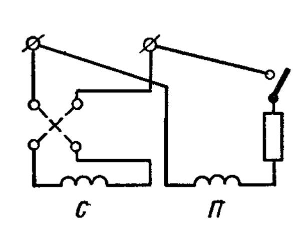


Рис. 93. Реверсирование однофазного двигателя

На рис. 92 показана принципиальная схема однофазного двигателя с пусковой обмоткой. У таких двигателей две обмотки — рабочая *С* и пусковая *П*. Рабочая обмотка остается включенной в сеть на все время работы электродвигателя, а пусковая включается только для трогания ротора с места и отключается выключателем *2*, когда он достигнет 70—80% номинальной скорости вращения.

Таким образом, двигатели с пусковыми обмотками пускаются как двухфазные, а работают как однофазные. В качестве выключателей применяют кнопки с ручным отключением или автоматические центробежные выключатели. В цепь пусковой обмотки включают пусковой элемент *1*, который чаще всего представляет собой активное сопротивление или конденсатор.

Для обеспечения наилучших характеристик двигателя необходимо выполнение следующих условий:

1) рабочая и пусковая обмотки должны быть расположены по окружности статора под углом 90 электрических градусов;

2) векторы токов в рабочей и пусковой обмотках должны быть сдвинуты на $^1/_4$ периода;

3) намагничивающие силы обмоток, т. е. произведения токов обмоток на число их витков, должны быть равны.

Двигатели с пусковыми обмотками можно реверсировать. Для этого достаточно поменять местами выводные концы рабочей *С* или пусковой *П* обмотки (рис. 93).

Наибольшее распространение получили однофазные двигатели с пусковым сопротивлением, которое заключено в самой пусковой обмотке. У этих двигателей рабочая обмотка занимает $^2/_3$ пазов статора и обладает большим индуктивным сопротивлением. Пусковая обмотка занимает только $^1/_3$ пазов статора, имеет меньше витков и, следовательно, значительно меньшее индуктивное сопротивление.

Активное сопротивление пусковой обмотки больше активного сопротивления рабочей обмотки. Она намотана проводом меньшего сечения. В двигателях, работающих с редкими пусками, сечение провода пусковой обмотки снижают настолько, что плотность тока в ней достигает 40 А/мм², а иногда и более. Двигатели, у которых пусковое сопротивление заключено в самой пусковой обмотке, называются двигателями с встроенными пусковыми сопротивлениями.

Активное сопротивление не может создать сдвиг между векторами токов рабочей и пусковой обмоток, равный четверти периода, поэтому результирующее поле будет не круговым, а эллиптическим. Эллиптическое поле можно рассматривать как сумму двух неравных по величине круговых полей, вращающихся в разные стороны. Одно из них — прямое, создающее вращающий момент, другое,— обратное, создающее тормозящий момент. Обратное вращающееся поле ухудшает пусковые и рабочие свойства двигателей.

Двигатели с встроенным пусковым сопротивлением типа АОЛБ охватывают диапазон мощностей от 18 до 600 Вт при напряжениях 127, 220 и 380 В и скоростях вращения 3000 и 1500 об/мин (синхронных). Отношение пускового момента к номинальному составляет 1—1,2, отношение пускового тока к номинальному — 6,5—9. Двигатели АОЛБ применяют там, где не требуются очень большие пусковые моменты (холодильники, стиральные машины).

Тип АОЛБ построен на трех габаритах — нулевом, первом и втором Обозначение двигателя АОЛБ 12/4 расшифровывается так: двигатель с встроенным пусковым сопротивлением, первого габарита, второй длины, четырехполюсный. У двигателей второго габарита первая цифра в обозначении типа двигателя будет 2.

При тяжелых условиях пуска применяют двигатели с пусковыми конденсаторами, которые имеют обозначение серии АОЛГ и те же цифровые обозначения типов, что и двигатели серии АОЛБ. Двигатели обеих серий имеют одинаковые номинальные данные рабочих обмоток, размеры и массы. Пусковые обмотки у них разные, и соответственно разные пусковые характеристики.

Как известно из электротехники, включение в цепь конденсатора приводит к тому, что ток пусковой обмотки не отстает, а опережает ток рабочей обмотки. При помощи конденсатора можно получить сдвиг токов рабочей и пусковой обмотки на 90° и таким образом создать при пуске круговое вращающееся поле. Двигатели с пусковыми конденсаторами имеют хорошие пусковые свойства, т. е. большое отношение пускового вращающего момента к номинальному (2—2,5), и низкую кратность пускового тока (3—4 номинального тока).

В двигателе с пусковой обмоткой после отключения этой обмотки $^1/_3$ пазов статора остается неиспользованной. Поэтому такие двигатели

имеют пониженную мощность. Для увеличения мощности применяют электродвигатели, у которых пусковая обмотка остается включенной. Для создания сдвига токов в рабочей *С* и пусковой обмотках в цепь последней включают конденсатор (рис. 94). Такие электродвигатели называются конденсаторными, а пусковая обмотка, используемая при работе двигателя, называется вспомогательной или конденсаторной и обозначается буквой *В*.

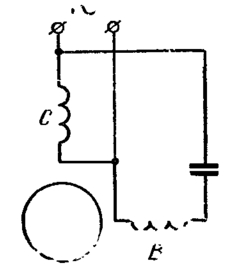


Рис. 94. Схема конденсаторного двигателя

У конденсаторного двигателя обе обмотки занимают одинаковые числа пазов. При помощи конденсатора можно создать сдвиг между векторами токов в обмотках на 90°. Таким образом, конденсаторный двигатель работает как двухфазный. При номинальной мощности в двигателе создается круговое поле. Благодаря этому конденсаторные двигатели имеют хорошие свойства: большую мощность на валу, высокий к. п. д. (60—75%) и высокий коэффициент мощности ($\cos\varphi = 0{,}8 \div 0{,}95$). Однако пусковой момент таких двигателей невысок. Обычно он не превышает 30% номинального. Это объясняется тем, что при пуске магнитное поле двигателя будет эллиптическим. Конденсаторные двигатели применяются только в условиях легкого пуска.

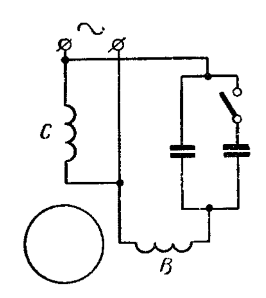


Рис. 95. Схема конденсаторного двигателя с пусковым конденсатором

Для улучшения пусковых свойств двигателя в момент пуска параллельно рабочему конденсатору включают пусковой конденсатор (рис. 95). Таким образом, при пуске сдвиг токов создается двумя конденсаторами — рабочим и пусковым. После пуска пусковой конденсатор отключается кнопкой или центробежным выключателем. Пусковой конденсатор рассчитывают на получение высокого пускового момента и малого пускового тока.

В единой серии однофазных двигателей выпускают конденсаторные двигатели типа АОЛД с рабочими и пусковыми конденсаторами. Емкость пускового конденсатора обычно значительно больше емкости рабочего конденсатора. Так, например, для двигателя мощностью 80 Вт при напряжении сети 127 В емкость рабочего конденсатора 18 мкФ, а пускового — 30 мкФ. Зато мощность двигателя, которая при тех же размерах у двигателей АОЛБ и АОЛГ 50 Вт, в конденсаторном двигателе 80 Вт.

В настоящее время выпускают конденсаторные двигатели нового типа АВЕ, у которых высокий к. п. д., коэффициент мощности доходит до единицы, хорошие пусковые и рабочие характеристики. В эту серию входят двигатели мощностью от 10 до 400 Вт при скоростях вращения 1500 и 3000 об/мин (синхронных) для сетей с напряжением 220 В. Эти двигатели должны заменить однофазные двигатели типа АОЛБ с пусковыми активными сопротивлениями.

Разновидностью конденсаторного двигателя является двигатель с массивным ротором, выточенным из стали или чугуна и не имеющим пазов и обмоток. Эти двигатели имеют большой пусковой момент. Скорость вращения можно регулировать в широких пределах реостатом в цепи рабочей обмотки, причем на всех скоростях от холостого хода до полной нагрузки двигатель работает устойчиво. Двигатели с массивным ротором просты по устройству, надежны в работе и бесшумны. Такой двигатель можно получить из любого конденсаторного двигателя, заменив у него ротор.

По своим рабочим характеристикам двигатели с массивным ротором могут заменить коллекторные двигатели постоянного или переменного тока. Вследствие больших потерь в роторе и магнитного рассеяния они имеют значительно более низкие к. п. д. и коэффициент мощности, поэтому по размерам и массе они больше коллекторных двигателей такой же мощности.

§ 38. КОНСТРУКЦИИ ОДНОФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе (рис. 96) является самым простым типом однофазного двигателя. Статор подковообразной формы собран из штампованных листов *3* электротехнической стали. Листы изолированы друг от друга лаковой пленкой во избежание сильного нагревания статора переменным магнитным потоком, вызывающим появление вихревых токов в сердечнике двигателя.

У статора только одна катушка *6*, но он двухполюсный. Расстояние между полюсными наконечниками равно ширине катушки, поэтому

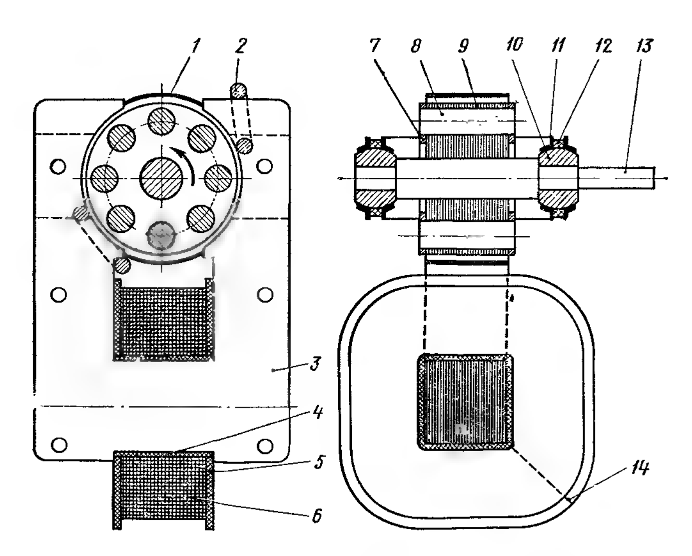


Рис. 96. Двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе

ее можно наматывать на станке прямо на изолированный сердечник статора. Витки катушки изолированы от сердечника гильзой *4* и двумя фланцами *5* из электрокартона. Для того чтобы можно было надеть фланцы на сердечник, имеются прорези *14*. В полюсных наконечниках проштампованы два отверстия, в которые вставлены витки *2* медной проволоки, охватывающие примерно одну треть полюсной дуги. Концы витков спаяны между собой.

Ротор двигателя собран из листов *9* и имеет отверстие в центре для вала *13*. В пазы, расположенные по окружности ротора, забиты медные стержни *8*, которые на его торцах припаяны к медным кольцам *7*. Обычно короткозамкнутые роторы выполняют со скосом пазов примерно на одно зубцовое деление. Ротор вращается в двух подшипниках представляющих собой латунные втулочки *10*, зажатые между пластинами *11*. Шаровидная поверхность втулочек позволяет им устанавливаться по оси вала, поэтому такие подшипники называются самоустанавливающимися. Смазка к подшипникам поступает через отверстия во втулочках от пропитанной в масле фетровой шайбы *12*. Эти подшипники применяют в микродвигателях. Они проще шарикоподшипников и работают бесшумно.

Ток, проходящий по катушке, создает пульсирующий магнитный поток, часть которого проходит через короткозамкнутый виток на полюсе. Таким образом, в двигателе с короткозамкнутым витком на полюсе имеются два потока, сдвинутых на некоторый угол. Они создают вращающееся магнитное поле. Вследствие неравенства двух потоков вектор результирующего поля будет не только вращаться, но и изменяться по величине в разные промежутки времени. Поэтому конец вектора будет описывать не окружность, а эллипс. Однако этого вполне достаточно, чтобы сдвинуть ротор с места при пуске.

Однако пусковой момент у такого двигателя очень мал и составляет 20—40% номинального момента. Поэтому двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе применяют только там, где не требуется большого пускового момента, например для настольных вентиляторов, магнитофонов, проигрывателей и т. п. Двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе — нереверсивные. Ротор вращается всегда в сторону короткозамкнутого витка, что показано стрелкой на рис. 96.

Иногда при разгоне ротор, достигнув скорости, равной $^1/_3$ синхронной скорости, дальше не разгоняется. Для увеличения вращающего момента между наконечниками полюсов вставляют тонкие стальные пластинки *1*, которые называются магнитными шунтами. В результате этого увеличивается магнитный поток, охватываемый короткозамкнутым витком, и магнитное поле больше приближается к круговому.

Перегрузочная способность двигателя с короткозамкнутым витком очень мала, и максимальный момент едва достигает 1,2 номинального. Если нагрузка на валу превысит этот момент, то ротор остановится. В отличие от других типов электродвигателей в состоянии короткого замыкания ток статора увеличивается незначительно, поэтому электродвигатель может долгое время быть включенным в сеть при неподвижном роторе. Это свойство используют в некоторых схемах. Ввиду зна-

чительных потерь энергии в короткозамкнутом витке к. п. д. двигателя не превышает 40%.

На рис. 97 показано устройство однофазного двигателя АОЛБ с встроенным пусковым сопротивлением. Статор двигателя собран из штампованных листов *15* электротехнической стали, спрессован и залит в алюминиевую оболочку *13* с двойными стенками. Между стенками образуются каналы для воздуха, охлаждающего поверхность статора. На заточки статора надеты две крышки *2* и *17*, отлитые из алюминиевого сплава. На переднюю крышку *17* надет штампованный колпак *18*

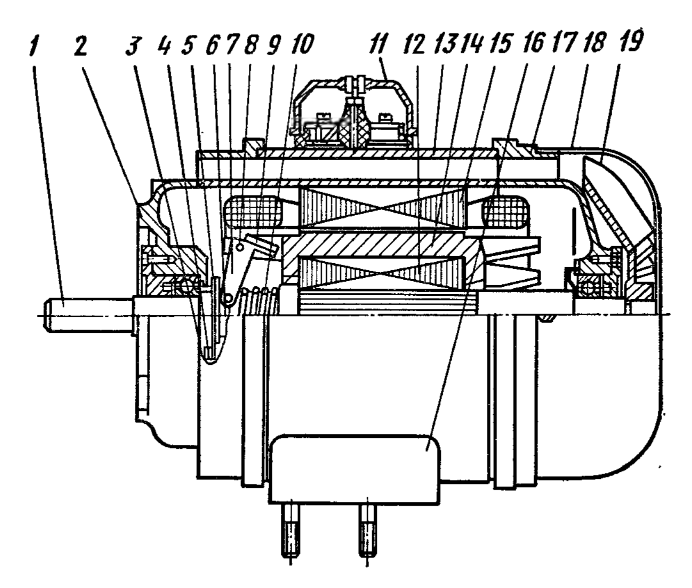


Рис. 97. Однофазный двигатель АОЛВ

с отверстиями в торце. Через эти отверстия при вращении ротора забирает воздух вентилятор *19*, насаженный на конец вала ротора. Воздух прогоняется по каналам в крышках и корпусе статора. Вентилятор отлит из алюминиевого сплава и закреплен на валу винтом.

В листах статора проштампованы двадцать четыре паза грушевидной формы. Из них шестнадцать пазов заняты проводами рабочей обмотки, а восемь пазов — проводами пусковой обмотки. Выводы рабочей и пусковой обмоток выведены к четырем контактным винтам, расположенным в коробке зажимов *11* на боковой стенке корпуса.

Сердечник ротора собран из листов *12* электротехнической стали и напрессован на рифленую поверхность средней части вала *1*. В пазы ротора залита алюминиевая обмотка *14* с замыкающими кольцами и лопатками вентилятора. Назначение вентилятора заключается в том, чтобы отбрасывать нагретый воздух к охлаждаемым наружным стенкам корпуса.

На роторе смонтирован центробежный выключатель пусковой обмотки. Он состоит из двух рычагов *7* с противовесами *9*, сидящих на

осях *8*, которые запрессованы в четырех лопатках вентилятора. Рычаги нажимают штифтами *6* на пластмассовую втулку *5*, свободно сидящую на валу. При разгоне ротора, когда скорость его вращения приближается к номинальной, противовесы под действием центробежной силы расходятся, поворачивая рычаги вокруг осей. При этом втулка *5* перемещается вправо, сжимая пружины *10*, и освобождает пружинный контакт *4*, замыкающий цепь пусковой обмотки. Этот контакт при неподвижном роторе замкнут торцом втулки с неподвижным контактом *3*. Подвижный и неподвижный контакты крепятся на изоляционной плате к задней крышке *2* двигателя. На ней укреплено тепловое реле, предназначенное для отключения двигателя от сети при его перегреве. Подставка *16* с четырьмя шпильками служит для крепления двигателя.

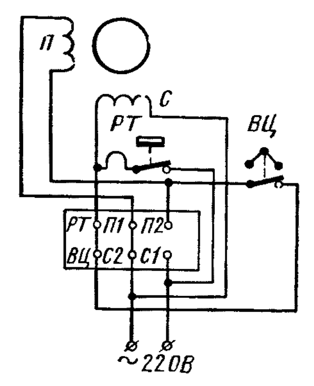


Рис. 98. Схема включения однофазного двигателя

Схема включения однофазного двигателя показана на рис. 98. Напряжение питающей сети подводится к зажимам *С1* и *С2*. От этих зажимов напряжение подводится к рабочей обмотке через контакты теплового реле *РТ*, состоящего из обмотки, биметаллической пластинки и контактов. При повышении нагрева двигателя сверх допустимого пластинка изгибается и размыкает контакты. При коротком замыкании через обмотку теплового реле пойдет большой ток, пластинка мгновенно нагреется и разомкнет контакты. При этом будут обесточены рабочая *С* и пусковая *П* обмотки, так как обе они питаются через тепловое реле. Таким образом, тепловое реле защищает двигатель от перегрузки и коротких замыканий.

Пусковая обмотка питается от зажимов *С1* и *С2* через перемычку *С2—П1*, контакты центробежного выключателя *ВЦ*, перемычку *ВЦ—РТ*, контакты теплового реле *РТ*. При пуске двигателя, когда ротор достигнет скорости вращения 70—80% номинальной, контакты центробежного выключателя разомкнутся и пусковая обмотка отключится от сети. При выключении двигателя, когда скорость ротора снизится, контакты центробежного выключателя снова замкнутся и пусковая обмотка будет подготовлена к следующему пуску.

§ 39. ОБМОТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПУСКОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Как было сказано, у однофазных двигателей с пусковыми обмотками рабочая обмотка занимает $^2/_3$ пазов статора, а пусковая — $^1/_3$ пазов. Выводы рабочей обмотки обозначают *С1* и *С2*, а выводы пусковой обмотки — *П1* и *П2*. На рис. 99 показана схема однослойной шаблонной обмотки вразвалку однофазного двухполюсного двигателя с пусковой обмоткой. Рабочая обмотка занимает пазы 1, 2, 3, 4, 9, 10,

11, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 23 и 24 — шестнадцать пазов, а пусковая — пазы 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19 и 20 — восемь пазов.

Диаметральный шаг обмотки однофазного двигателя определяется по формуле

$$y_z = \frac{z}{2p}.$$

Рабочая и пусковая обмотки могут иметь разные шаги.

Для обмотки, схема которой изображена на рис. 99, диаметральный шаг был бы $y_z = \frac{24}{2} = 12$, а рабочая обмотка имеет шаг $y_с = 8(1-9)$, т. е. $^2/_3$ диаметрального. У пусковой обмотки шаг $y_п = 10(7-17)$.

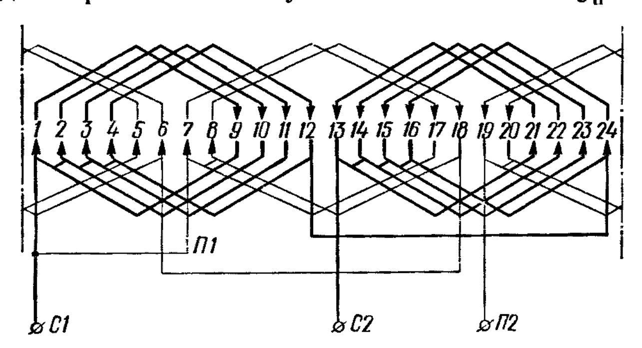


Рис. 99. Схема однослойной шаблонной обмотки вразвалку (при $z=24$)

Начало пусковой обмотки *П1* спаяно с началом рабочей обмотки *С1* внутри статора. Второй вывод пусковой обмотки *П2* выведен наружу для возможности отключения ее после пуска двигателя.

При подсчете числа пазов на полюс в однофазных обмотках берут число пазов не всего статора, а число пазов, занимаемых данной обмоткой. Обозначим число пазов, занимаемых рабочей обмоткой — $z_С$, а число пазов пусковой обмотки $z_П$.

Тогда число пазов на полюс рабочей обмотки

$$q_С = \frac{z_С}{2p}, \tag{11}$$

а число пазов на полюс пусковой обмотки

$$q_П = \frac{z_П}{2p}. \tag{12}$$

На схеме, изображенной на рис. 99, $q_С = 8$, а $q_П = 4$. Но, ввиду того что обмотка выполнена вразвалку, рабочая обмотка состоит из катушечных полугрупп по четыре катушки в каждой, а пусковая обмотка из катушечных групп по две катушки. Как и во всякой обмотке вразвалку, одноименные выводы полугрупп соединены между собой (конец с концом).

В однофазных обмотках вразвалку шаг выбирают таким, чтобы катушечная полугруппа рабочей обмотки охватывала $q_п$ сторон катушек пусковой обмотки, а катушечная полугруппа пусковой обмотки — $q_с$ сторон катушек рабочей обмотки. В схеме $q_с$ и $q_п$ четные. Поэтому обе обмотки расположены симметрично.

Встречаются также двигатели с нечетным числом пазов на полюс. На рис. 100 показана схема однослойной шаблонной обмотки со следующими данными: $z = 18$, $2p = 2$, $y_с = 6$, $q_п = 3$. Так как катушечная группа пусковой обмотки выражается нечетным числом, одна катушечная полугруппа состоит из двух катушек, а другая — из одной катушки. По этой же причине катушечные полугруппы пусковой обмотки имеют разные шаги по пазам ($y_{1п} = 7$, $y_{2п} = 8$).

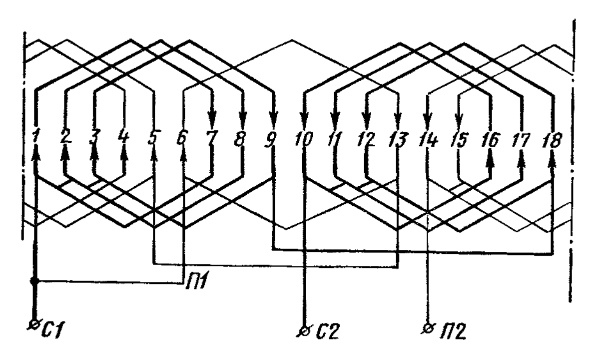


Рис. 100. Схема однослойной шаблонной обмотки вразвалку (при $z = 18$)

В производстве однофазных двигателей обычно применяют торцовые схемы обмоток. На рис. 101 изображена такая схема однофазного двухполюсного двигателя. Как рабочая, так и пусковая обмотки имеют по две катушки. Сторона катушки рабочей обмотки занимает два паза, а сторона катушки пусковой обмотки — один паз. Между катушками рабочей и пусковой обмотки угол 90°. Это видно на схеме, где ось рабочей обмотки, проходящая через середины катушек, является горизонтальным диаметром, а ось пусковой обмотки — вертикальным диаметром.

Порядок укладки катушек в пазы следующий. Сначала вкладывают катушку во 2 и 5-й пазы, затем охватывающую ее катушку — в 1 и 6-й пазы. Таким образом, эта обмотка является концентрической.

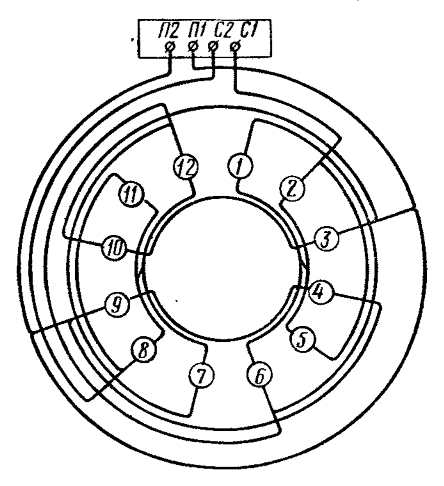


Рис. 101. Торцовая схема концентрической обмотки

Конец первой катушки соединяют с началом второй. Начало первой катушки из 2-го паза присоединяют к зажиму *С1*, а конец катушки из 6-го паза соединяют с выводом из 12-го паза.

Аналогично вкладывают в пазы вторые катушки рабочей обмотки: сначала в 8 и 11-й пазы, а затем 7 и 12-й пазы и соединяют катушечные группы между собой, чтобы они имели противоположную полярность. Это значит, что если одну катушечную группу обмотки ток обтекает по часовой стрелке, то противоположную группу этой обмотки ток должен обтекать против часовой стрелки.

Вывод из 8-го паза соединяют с зажимом *С2* на дощечке. После этого вкладывают катушки пусковой обмотки. Первую катушку в 10 и 3-й

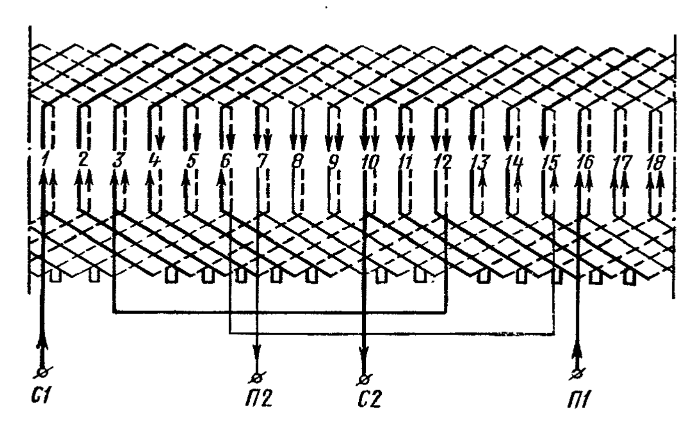


Рис. 102. Схема двухслойной обмотки

пазы, а вторую — в 4 и 9-й пазы. Концы катушек присоединяют к зажимам *П1* и *П2*. При соединении катушек пусковой обмотки также необходимо следить за тем, чтобы полярность их была противоположной. Выводы *С1* и *П1* присоединяют к одному из проводов сети переменного тока, а выводы *С2* и *П2* — к другому. Если поменять местами выводы пусковой или рабочей обмоток, то ротор двигателя будет вращаться в другую сторону.

В однослойных обмотках не всегда можно выполнить укорочение шага на $^1/_3$ полюсного деления для устранения действия третьей гармоники. Поэтому в однофазных двигателях все чаще стали применять двухслойные обмотки, хотя это и затрудняет укладку катушек в пазы.

На рис. 102 показана схема двухслойной обмотки однофазного двигателя с пусковым сопротивлением. Как и обмотки трехфазных двигателей, она состоит из симметрично расположенных катушек с одинаковым шагом, размещенных в пазах в два слоя. Обмотка имеет следующие технические данные: число пазов $z = 18$, число полюсов $2p = 2$. Шаг по пазам рабочей и пусковой обмоток взят равным $^2/_3$ полюсного деления $y_С = y_П = 6$ (1—7). Число пазов на полюс рабочей обмотки $q_С = \frac{12}{2} = 6$, а пусковой обмотки $q_П = \frac{6}{2} = 3$.

В соответствии с укорочением шага на три паза на статоре имеются две зоны, в которых направление токов встречное. Эти зоны занимают пазы 4, 5, 6 и 13, 14, 15. Как во всякой двухслойной обмотке, соединение катушек в рабочей и пусковой обмотках выполнено одноименными выводами. Каждая катушечная группа рабочей обмотки состоит из шести катушек, а пусковой обмотки — из трех катушек. Следовательно, рабочая обмотка занимает $^2/_3$ пазов статора, а пусковая $^1/_3$, как и в однослойных обмотках.

§ 40. ОБМОТКИ С ВСТРОЕННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Для повышения активного сопротивления пусковых обмоток без увеличения их индуктивного сопротивления применяют бифилярную намотку катушек (схема такой катушки показана на рис. 103). В этой катушке шесть витков. Все они соединены последовательно и участвуют в создании активного сопротивления катушки, но последние два витка намотаны в обратном направлении. При прохождении по катушке тока намагничивающие силы последних четырех витков взаимно уничтожаются и в создании магнитного поля участвуют только два первых витка.

Рис. 103. Схема катушки с бифилярными витками

Таким образом, число эффективных проводов такой катушки можно определить по формуле

$$w_{эфф} = w_{полн} - 2w_{биф}. \quad (13)$$

В двигателях с встроенным сопротивлением широко применяют однослойные концентрические обмотки с бифилярными катушками. Схема обмотки такого двигателя, изображенная на рис. 104, имеет следующие данные: $z = 24$, $2p = 4$, $z_С = 16$, $z_П = 8$.

По формулам (11) и (12) определим $q_С$ и $q_П$:

$$q_С = 4; \quad q_П = 2.$$

Катушка рабочей обмотки охватывает $q_П$ катушек, а катушка пусковой обмотки $q_С$ катушек. Угол между пазами $\frac{2 \cdot 360}{24} = 30$ электрических градусов. Сдвиг между рабочей и пусковой обмотками $3 \times 30 = 90$ электрических градусов (1 и 4-й пазы).

Каждая из четырех катушек пусковой обмотки состоит фактически из двух катушек. Для получения бифилярной катушки необходимо уложить в одни и те же пазы две катушки — одну в направлении намотки, а другую перевернуть на 180° — и соединить их последовательно. Полярность катушки определяется по направлению тока в части катушки с большим числом витков. На схеме из пазов 9, 10, 21 и 22 выходят петли, получившиеся при переворачивании катушек на 180°.

На рис. 105 показана торцовая схема обмотки этого же двигателя. На ней наглядно показаны бифилярные витки катушки пусковой обмотки.

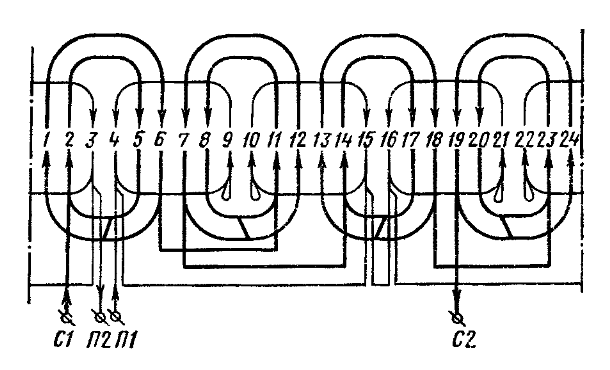


Рис. 104. Схема концентрической обмотки с встроенным сопротивлением

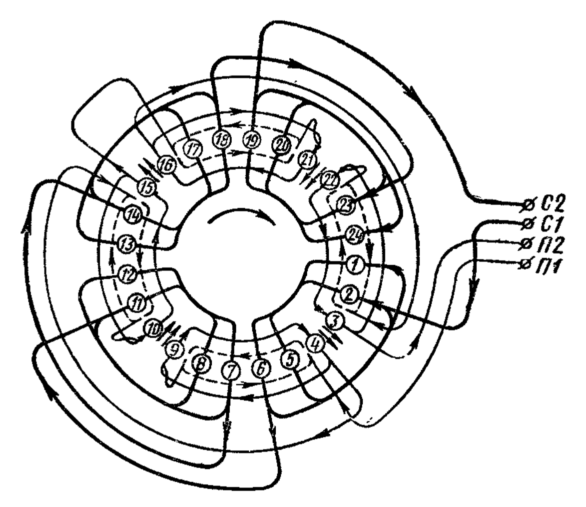


Рис. 105. Торцовая схема обмотки с встроенным сопротивлением

§ 41. ОБМОТКИ КОНДЕНСАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Как было сказано, в конденсаторных двигателях обе обмотки остаются включенными на все время работы двигателя и каждая из них занимает половину пазов статора.

Шаг обмотки (диаметральный) определяется по общей формуле

$$y_z = \frac{z}{2p}.$$

В однослойных обмотках шаги рабочей и вспомогательной обмоток могут быть разными.

Для устранения действия третьей гармоники берут укорочение шага на $^1/_3$ полюсного деления.

Число пазов, занимаемое каждой обмоткой $z_С = z_В = \frac{z}{2}$.

Число пазов на полюс каждой обмотки $q_С = q_В = \frac{z}{2 \cdot 2p} = \frac{z}{4p}$.

На рис. 106 показана торцовая схема концентрической обмотки двухполюсного однофазного конденсаторного двигателя. Статор имеет 16 пазов: 8 пазов занимают катушки рабочей обмотки и 8 пазов — катушки вспомогательной обмотки. Как видно на схеме, рабочая и вспомогательная обмотки расположены под углом 90°. Диаметральный шаг такой обмотки был бы $y_z = \frac{16}{2} = 8$. Средний шаг концентрической обмотки $\frac{7+5}{2} = 6$.

Укорочение на $^1/_3$ полюсного деления в этой обмотке выполнить нельзя, так как при этом шаг выразился бы дробным числом ($8 \times {}^2/_3 = 5^1/_3$).

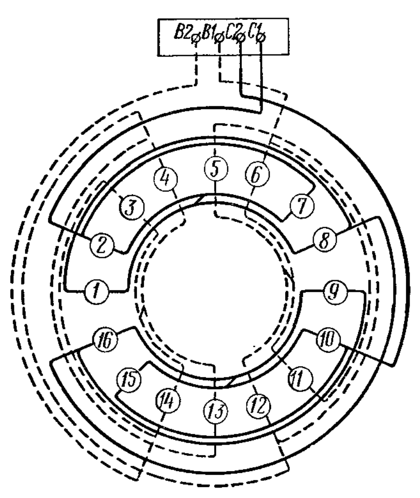


Рис. 106. Торцовая схема обмотки конденсаторного двигателя

Число пазов на полюс в обеих обмотках

$$q_С = q_В = \frac{16}{2 \cdot 2} = 4.$$

Соединение катушечных групп выполнено одноименными выводами, так как обмотка сделана вразвалку. При таком соединении групп диаметрально расположенные катушки имеют противоположную полярность.

В практике встречаются случаи, когда число катушек в катушечной полугруппе выражается дробным числом. На рис. 107 показана схема обмотки конденсаторного двигателя типа ДВА-УЗ для магнитофонов. Обмотка имеет следующие данные: $z = 24$, $2p = 4$.

Число пазов, занимаемой рабочей и вспомогательной обмотками,

$$z_С = z_В = \frac{24}{2} = 12.$$

Число пазов на полюс в каждой обмотке

$$q_С = q_В = \frac{24}{4 \cdot 2} = 3.$$

Обмотка — концентрическая вразвалку, поэтому число катушек в полугруппе

$$\frac{3}{2} = 1\frac{1}{2}.$$

Как видно на схеме, каждая обмотка состоит из четырех катушек, стороны которых лежат в двух пазах. Но охватывающие катушки с шагом 6(1—7) намотаны с половинным числом витков и стороны их лежат в пазах 4, 10, 16 и 22 у рабочей обмотки и в пазах 1, 7, 13 и 19 у вспомогательной обмотки. В этих пазах обмотка выполнена как двух-

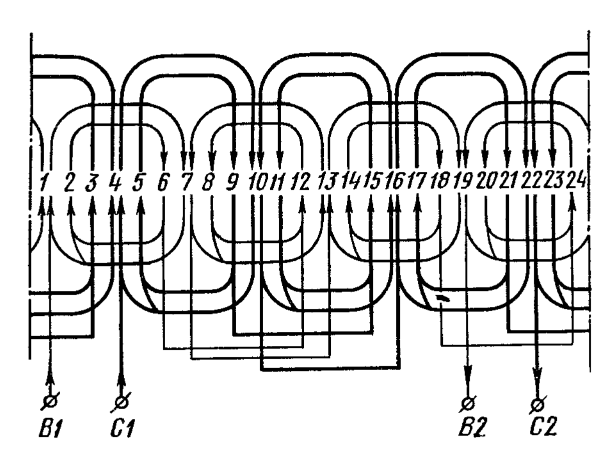


Рис. 107. Схема концентрической обмотки конденсаторного двигателя

слойная, в остальных пазах — как однослойная. Катушки с половинным числом витков называются «расчесанными». Соединения между катушечными полугруппами выполнены одноименными выводами, как у всякой обмотки вразвалку.

Диаметральный шаг для этой обмотки был бы

$$y_z = \frac{24}{4} = 6.$$

Полугруппы концентрической обмотки имеют шаги $y_1 = 4$ и $y_2 = 6$. Средний шаг обмотки (4+6) : 2=5. Таким образом, укороченный шаг составляет $^5/_6$ диаметрального шага.

Угол между пазами $\frac{2\cdot 360}{24} = 30$ электрических градусов.

Сдвиг между обмотками $3\cdot 30 = 90$ электрических градусов.

В последнее время конденсаторные двигатели все чаще стали выполняться с двухслойными обмотками, которые позволяют выбрать оптимальное укорочение шага.

При разработке серии однофазных двигателей в целях унификации штампов приходится применять одни и те же листы статора данного

габарита для двигателей с разными числами полюсов. При этом не всегда удается сохранить симметричное расположение катушек рабочей и вспомогательной обмоток.

В качестве примера можно привести схемы обмоток конденсаторного двигателя типа АВЕ 041-2 (рис. 108) и АВЕ 041-4 (рис. 109). Как видно на схеме, показанной на рис. 108, при $z = 18$ и $2p = 2$ рабочая и вспомогательная обмотки содержат по девять катушек. Шаги по пазам *1—8* с укорочением $^7/_9$ диаметрального шага. Число пазов

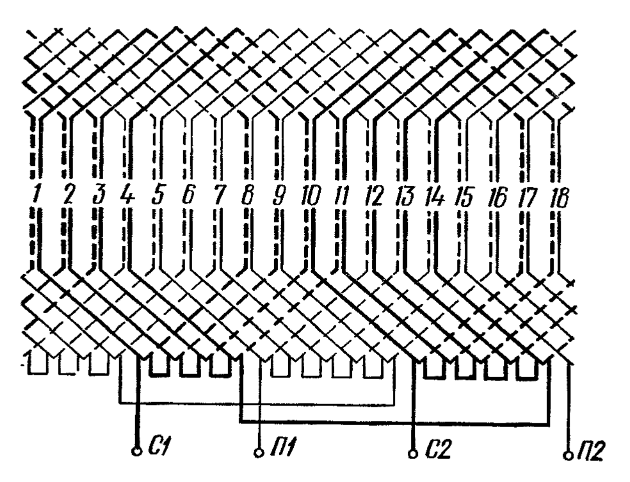


Рис. 108. Схема обмотки конденсаторного двигателя АВЕ 041-2

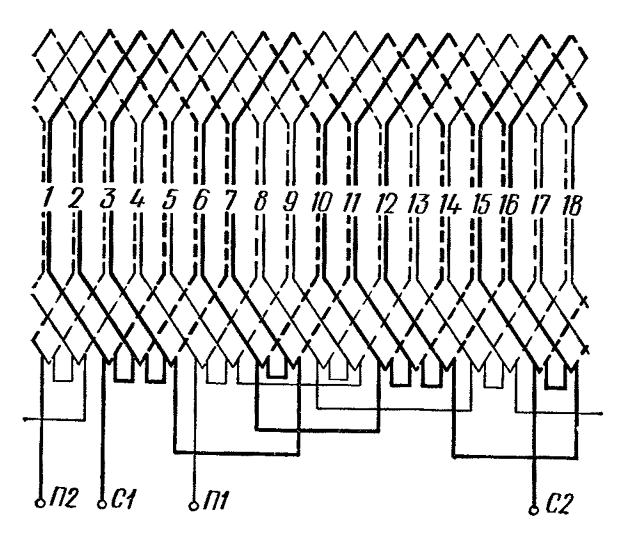


Рис. 109. Схема обмотки конденсаторного двигателя АВЕ 041-4

на полюс

$$q = \frac{9}{2} = 4{,}5,$$

поэтому первая катушечная группа рабочей обмотки состоит из четырех катушек, а вторая — из пяти.

Рассмотрим схему четырехполюсного двигателя при том же числе пазов (рис. 109). У обмотки этого двигателя диаметральный шаг выражается дробным числом

$$y_z = \frac{18}{4} = 4{,}5.$$

Катушки рабочей и вспомогательной обмоток уложены в пазы с шагом 1—5. Укороченный шаг составляет 4 : 4,5 = 0,9 диаметрального. Каждая обмотка состоит из четырех катушечных групп. В рабочей обмотке числа катушек в группах чередуются (3 + 2 + 3 + 2 = 10 пазов). На долю вспомогательной обмотки остается 8 пазов, поэтому ее группы состоят из двух катушек.

§ 42. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ОБМОТОК ОДНОФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При составлении схем обмоток необходимо учитывать порядок укладки катушек в пазы. Применяют два способа укладки: по часовой стрелке и против часовой стрелки. В зависимости от этого меняется порядок нумерации пазов. При укладке по часовой стрелке пазы нумеруют справа налево, а при укладке против часовой стрелки — слева направо.

Пример 1. Составить схему концентрической обмотки вразвалку однофазного двигателя с встроенным сопротивлением со следующими данными $z = 24$, $2p = 4$. Укладка катушек по часовой стрелке (рис. 110).

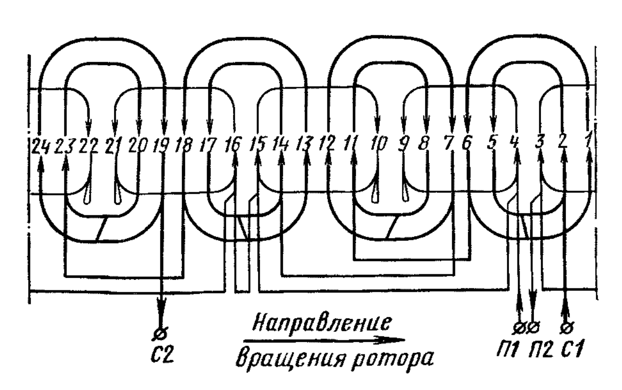


Рис. 110. Схема концентрической обмотки при вращении ротора против часовой стрелки

Рассчитаем число пазов, занимаемых каждой обмоткой. Рабочая обмотка занимает $^2/_3 \cdot 24 = 16$ пазов, а пусковая $^1/_3 \cdot 24 = 8$ пазов.

Для определения шагов обмотки надо знать числа пазов на полюс. У рабочей обмотки $q_С = \frac{16}{4} = 4$, у пусковой обмотки $q_П = \frac{8}{4} = 2$.

Следовательно, при обмотке вразвалку сторона катушечной полугруппы рабочей обмотки занимает два паза, а пусковой обмотки — один паз.

На листе писчей бумаги в клетку проведем 24 вертикальные черточки и пронумеруем их справа налево. Если согнуть лист бумаги в цилиндр так, чтобы изображение схемы было внутри него, то порядковые номера пазов будут читаться по часовой стрелке. Сначала изобразим катушки рабочей обмотки. Катушечная полугруппа должна охватывать $q_П$ пазов, поэтому 3 и 4-й пазы оставляем свободными и первую полугруппу рабочей обмотки уложим в 1, 2, 5 и 6-й пазы. Вторая полугруппа будет лежать в 7, 8, 11 и 12-й пазах. Третья полугруппа — в 13, 14, 17, и 18-м пазах, четвертая — в 19, 20, 23 и 24-м пазах.

Начало рабочей обмотки возьмем из 2-го паза. Если ток направлен в обмотку от зажима *С1*, то он будет обтекать первую катушечную полугруппу против часовой стрелки. Чтобы во второй полугруппе была другая полярность, ток должен обтекать ее по часовой стрелке. В третьей полугруппе направление тока должно быть таким же, как в первой, а в четвертой таким же, как во второй. Соответственно надо произвести соединения между катушечными полугруппами. Конец рабочей обмотки выйдет из 19-го паза.

Обмотки однофазных двигателей часто выполняют без паек схемы. Для этого всю рабочую и всю пусковую обмотку мотают на шаблон непрерывным проводом. Между отдельными катушечными группами оставляют перемычки достаточной длины, чтобы группы можно было уложить в пазы статора. Намотку отдельных групп на станке производят в одном направлении, а для получения различной полярности четные группы перед укладкой в пазы перевертывают на 180°. На схеме это видно по направлению соединительных проводов между катушками полугруппы: у четных полугрупп они наклонены вправо, а у нечетных — влево. Применение обмотки без паек схемы упрощает ее выполнение и устраняет возможность перепутывания выводных концов.

Теперь перейдем к пусковой обмотке. Она должна быть уложена в оставшиеся свободными 3, 4, 9, 10, 15, 16, 21 и 22-й пазы. Для обмотки с встроенным сопротивлением каждая катушка состоит из двух секций — одна с бо́льшим количеством витков, а другая — с меньшим. Перед началом укладки в пазы в каждой катушке одну из секций (обычно вторую по ходу их намотки на шаблоне) перевертывают на 180° и получают таким образом бифилярные витки. На схеме видны петли, выходящие из 9, 10, 21 и 22-го пазов, образовавшиеся от перевертывания секций.

Пусковая обмотка должна отстоять от рабочей обмотки на 90 электрических градусов. В этом двигателе угол между пазами составляет $\frac{2 \cdot 360}{24} = 30$ электрических градусов. Поэтому начало пусковой обмот-

ки надо брать из 4-го паза. Конец пусковой обмотки выйдет из 3-го паза.

В однофазных двигателях часто начало рабочей и пусковой обмоток соединяют внутри статора и на дощечку зажимов выпускают только три вывода обмотки. Такой двигатель уже нельзя реверсировать в процессе эксплуатации, поэтому при выпуске с завода направление вращения ротора должно соответствовать стрелке, изображенной на корпусе двигателя.

Направление вращения ротора можно определить по схеме обмотки статора следующим образом. Если рассматривать схему начиная от первой катушки рабочей обмотки, то ротор будет вращаться в сто-

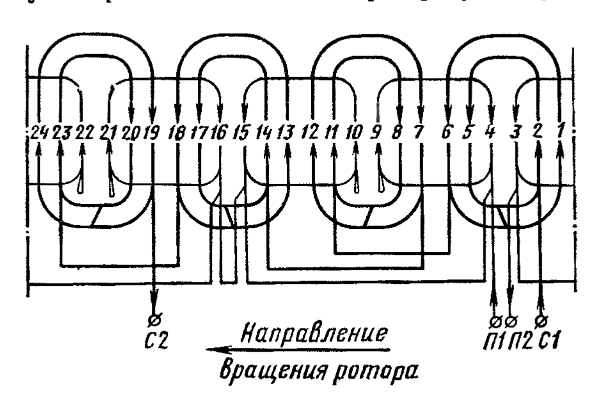


Рис. 111. Схема концентрической обмотки при вращении ротора по часовой стрелке

рону той катушки пусковой обмотки, в которой ток имеет обратное направление. На схеме, показанной на рис. 110, ротор будет вращаться против часовой стрелки, т. е. от катушки рабочей обмотки, лежащей в пазах 1 и 2, в сторону катушки пусковой обмотки, лежащей в пазу 22.

В этой обмотке в катушках пусковой обмотки были перевернуты секции с бо́льшим числом витков. Выполним эту обмотку, перевертывая на 180° секции с меньшим числом витков. При этом токи в катушках пусковой обмотки изменят направление (рис. 111). Теперь ротор будет вращаться от 2-го и 3-му пазу, т. е. по часовой стрелке.

Не следует смешивать два понятия: укладка катушек обмотки по или против часовой стрелки и направление вращения ротора по или против часовой стрелки. Между ними нет никакой зависимости.

В двигателях с пусковыми обмотками обычно сначала укладывают в пазы катушки рабочей обмотки, а затем катушки пусковой обмотки. Это объясняется тем, что чаще выходят из строя пусковые обмотки. В них допускается высокая плотность тока и запаздывание их отключения обычно ведет к перегоранию проводов.

Пример 2. Составить схему двухслойной обмотки конденсаторного двигателя со следующими данными: $z = 24$, $2p = 2$.

Каждая обмотка занимает по 12 пазов. Число пазов на полюс в каждой обмотке $q_С = q_П = \frac{24}{4} = 6$. Диаметральный шаг этой обмотки, $y_z = \frac{24}{2} = 12$. Возьмем укороченный шаг, равный $^2/_3$ диаметрального,

$$y_z = \frac{2}{3} \cdot 12 = 9, \text{ т. е. } (1 - 10).$$

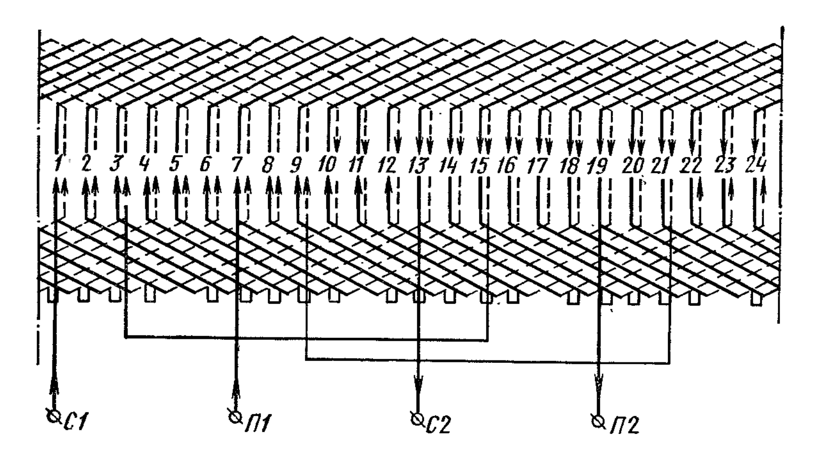


Рис. 112. Схема двухслойной обмотки конденсаторного двигателя

Проведем на писчей бумаге в клетку 24 двойных линии (одну сплошную, а другую пунктирную) и пронумеруем их слева направо (рис. 112). Это будет соответствовать укладке катушек против часовой стрелки.

Каждая обмотка состоит из двух катушечных групп по шесть катушек. Для осуществления обмотки без пайки схемы намотаем каждую обмотку непрерывным проводом.

В обмотках крупных машин верхние стороны катушек оставляют внутри статора не вложенными в пазы до тех пор, пока не будут заполнены нижние части этих пазов. В малых двигателях внутри статора нет достаточного места для размещения верхних сторон катушек. Поэтому укладку катушек производят в такой последовательности. Сначала вкладывают в нижние части пазов первую катушечную группу рабочей обмотки левой стороной в 1, 2, 3, 4, 5 и 6-й пазы, а правой стороной в пазы 10, 11, 12, 13, 14 и 15. Затем укладывают в пазы первую катушку вспомогательной обмотки. Начало ее должно отстоять от начала рабочей обмотки на 90 электрических градусов или на шесть пазовых делений, так как угол между пазами равен $\frac{360}{24} = 15$ электрических градусов. Поэтому начало вспомогательной обмотки должно выходить из 7-го паза.

Первую катушечную группу вспомогательной обмотки левой стороной вкладывают в 7, 8, 9, 10, 11 и 12-й пазы, а правой стороной в 16, 17, 18, 19, 20 и 21-й пазы. После этого 10, 11 и 12-й пазы будут заполнены целиком, а другие пазы только наполовину. Пазы 22, 23 и 24 останутся пока пустыми.

Теперь надо вложить в пазы катушки обратной полярности. Для этого перевернем вторую катушечную группу рабочей обмотки на 180° и вложим ее левой стороной в 13, 14 15, 16, 17 и 18-й пазы, а правой стороной в 22, 23, 24, 1, 2 и 3-й пазы. Вывод из 13-го паза является концом рабочей обмотки. Затем перевернем вторую группу вспомогательной обмотки на 180° и вложим ее левой стороной в 19, 20, 21, 22, 23 и 24-й пазы, а правой стороной в 4, 5, 6, 7, 8 и 9-й пазы. Вывод из 19-го паза будет являться концом вспомогательной обмотки. Теперь все пазы заполнены целиком.

Для проверки схемы расставим стрелки, указывающие направление токов, приняв, что ток направлен в обмотку от зажимов *C1* и *П1*. Обмотка разделится на две зоны с противоположным направлением токов, как и должно быть в двухполюсном статоре. В 10, 11 и 12-м пазах, а также в 22, 23 и 24-м направления токов в проводниках встречные. Это объясняется укорочением шага обмотки на три паза.

Контрольные вопросы

1. Для чего нужны пусковые устройства в однофазных асинхронных двигателях?
2. Какие основные типы однофазных двигателей вы знаете?
3. Как устроен двигатель типа АОЛБ?
4. В каком порядке укладывают в пазы обмотки с встроенным сопротивлением?
5. В чем заключаются достоинства конденсаторных двигателей?
6. Объясните схемы двигателей типа АВЕ 04-го и 05-го габаритов при двух и четырех полюсах.
7. Расскажите о составлении схем обмоток однофазных двигателей.

ГЛАВА VIII. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ В ПАЗЫ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК РОТОРА

§ 43. ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЕВОЙ ОБМОТКИ

В асинхронных двигателях большой мощности с фазными роторами, через обмотки которых протекает большой ток, применяют стержневые обмотки ротора. Их изготовляют из стержней, которые согнуты из голых медных шин, изолированных при помощи обертывания изоляционными материалами. Для стержневых обмоток используют шины прямоугольного сечения или со скругленной гранью. Чаще всего стержневые обмотки выполняют двухслойными с двумя стержнями в пазу (двухстержневые). Однако встречаются стержневые обмотки и с четырьмя стержнями в пазу. Такие обмотки можно рассматривать как двухстержневые, но с удвоенным числом пазов. Стержневые обмотки могут быть волнового и петлевого типа. Наибольшее распространение получили обмотки волнового типа. Их преимущество заключается в том, что они имеют меньшее число соединений между катушечными группами.

Стержневые обмотки ротора применяют при закрытых или полузакрытых пазах. Поэтому стержни вставляют в пазы с торца ротора. Обмотка состоит из стержней верхнего и нижнего слоев. При прямоугольном сечении стержней они отличаются только длиной лобовых частей, которая у стержней верхнего слоя несколько больше. При скруглении грани стержни верхнего и нижнего слоев отличаются различным расположением скругленной стороны.

Кроме стержней в стержневой обмотке имеются еще перемычки, или соединительные дуги. В каждой фазе по одной такой перемычке, а всего их на роторе три.

На рис. 113 показана схема волновой обмотки ротора, имеющего 24 паза и четыре полюса. Проследим построение схемы, начиная с 1-го паза (начало первой фазы). На схеме стержни, лежащие в верхнем слое, изображены сплошными линиями, а стержни, лежащие в нижнем слое,— штриховыми линиями. Стержни верхнего и нижнего слоев соединяют хомутиками и пропаивают. Каждый хомутик соединяет стержень верхнего слоя со стержнем нижнего слоя. Для построения схемы надо знать шаг обмотки, который, как и для других обмоток, равен числу пазов, разделенному на число полюсов.

Как было сказано в § 27, статорные обмотки почти всегда выполняют с укороченным шагом. В обмотках петлевого типа укорочение

шага кроме улучшения электрических характеристик машины дает некоторую экономию медного провода.

В обмотках волнового типа укорочение шага не применяют, так как укорочение шага с одной стороны ротора влечет за собой удлинение шага с противоположной его стороны. Поэтому стержневые обмотки ротора выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора.

Для данного ротора шаг обмотки по пазам $y_z = 24 : 4 = 6$. Следовательно, верхний стержень 1-го паза надо соединить с нижним стержнем 7-го паза. Чтобы узнать следующее соединение, надо к номеру 7-го

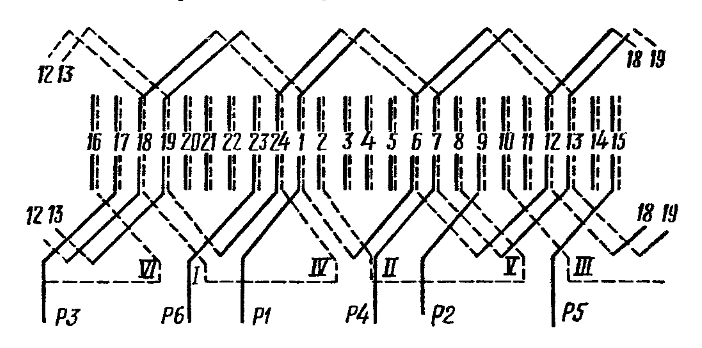


Рис. 113. Схема волновой обмотки ротора

паза прибавить шаг обмотки 6. На схеме видно, что нижний стержень 7-го паза соединен с верхним стержнем 13-го паза. Следующее соединение будет между верхним стержнем 13-го паза и нижним стержнем 19-го паза. Если к номеру 19-го паза прибавить шаг обмотки, то получим номер 1-го паза, т. е. нижний стержень 19-го паза надо будет соединить с верхним стержнем 1-го паза, и таким образом, обмотка замкнется.

Чтобы избежать этого, при подходе к пазу, с которого началась обмотка, укорачивают или удлиняют ее шаг на один паз. Такие обмотки называют обмотками с укороченными или удлиненными переходами. На рис. 113 показана схема обмотки с укороченными переходами, поэтому нижний стержень 19-го паза соединен с верхним стержнем 24-го паза (шаг 1—6). Второй обход ротора идет рядом с первым. Верхний стержень 24-го паза соединен с нижним стержнем 6-го паза, который соединяется с верхним стержнем 12-го паза, а он — с нижним стержнем 18-го паза.

У этой обмотки число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Поэтому надо было сделать два обхода ротора. На схеме видно, что на роторе образовались четыре полюсных деления в соответствии с числом полюсов. Но произведенные соединения образовали волны,

которые являются как бы полукатушками. Для создания четырехполюсной обмотки не хватает соединений с противоположной стороны ротора. Такие соединения получают, если делают обходы ротора в обратном направлении. Для этого соединяют нижний стержень 18-го паза с нижним стержнем, отстоящим от него на один шаг, т. е. со стержнем 24-го паза. Это показано на схеме в виде перемычки, обозначенной *I—IV*.

Теперь произведем два обхода ротора в противоположном направлении. Нижний стержень 24-го паза соединим с верхним стержнем 18-го паза. Верхний стержень 18-го паза соединим с нижним стержнем 12-го паза, а нижний стержень 12-го паза соединим с верхним стержнем 6-го паза.

Следующее соединение согласно шагу обмотки нужно было бы сделать с нижним стержнем 24-го паза, но он уже занят, поэтому делаем укороченный шаг и соединяем верхний стержень 6-го паза с нижним стержнем 1-го паза. Затем соединяем нижний стержень 1-го паза с верхним стержнем 19-го паза, который соединяется с нижним стержнем 13-го паза, а он — с верхним стержнем 7-го паза. Другой конец верхнего стержня 7-го паза идет на вывод (конец первой фазы).

Обычно обмотки роторов асинхронных двигателей соединяют в звезду. К контактным кольцам подводят три вывода, которые в соответствии с ГОСТ 183—66 должны обозначаться: от первой фазы *Р1*, от второй *Р2* и от третьей *Р3*. На схемах обмоток, которые приводятся в этой главе, начала фаз обозначены *Р1*, *Р2*, *Р3*, а концы фаз по аналогии с обозначениями в схемах обмоток статора с шестью выводами — *Р4*, *Р5*, *Р6*.

Соответственно стержни, соединяемые перемычками, обозначены римскими цифрами. Так, например, в первой фазе даны следующие обозначения: *Р1* — начало фазы, *Р4* — ее конец, *I—IV* — перемычка. Во второй фазе: *Р2* — начало фазы, *Р5* — ее конец, *II—V* — перемычка. В третьей фазе: *Р3* — начало фазы, *Р6* — ее конец, *III—VI* — перемычка.

После двух обратных обходов мы получили четыре катушечные группы, состоящие каждая из двух катушек. Четыре катушечные группы соответствуют числу полюсов, а две катушки в каждой группе соответствуют числу пазов на полюс и фазу. Таким образом, стержневая обмотка ротора волнового типа включает три элемента: стержни верхнего слоя, стержни нижнего слоя и перемычки.

§ 44. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК И ВЫВОДОВ ФАЗ

Ротор является вращающейся частью машины. Во избежание дебаланса ротора нужно, чтобы центр тяжести совпадал с осью вращения. Это возможно в том случае, если все элементы обмотки расположены равномерно по окружности, что в первую очередь зависит от расположения начал фаз. Поэтому в обмотках роторов асинхронных двигателей начала фаз располагают на расстоянии не 120 электрических градусов, как в статорных обмотках, а равномерно по окружности,

т. е. на расстоянии 120 геометрических градусов. Но при этом должно быть выполнено условие электрической симметрии.

Для соблюдения электрической симметрии начала фаз должны быть сдвинуты одно относительно другого на расстояние 120 или 240 электрических градусов плюс любое целое число раз по 360 электрических градусов. Такими углами, кроме 120 и 240 электрических градусов, являются 480, 600, 2400 и многие другие.

Если начала фаз расположены равномерно по окружности, то равномерно будут расположены концы фаз и перемычки. Проследим это по схеме, показанной на рис. 113. Здесь начала фаз выходят из 1, 9 и 17-го пазов. В окружности при $p = 2$ будет $360 \cdot 2 = 720$ электрических градусов. Угол между пазами $\frac{720}{24} = 30$ электрическим градусам. Шаг между началами составляет 8 пазовых делений. Следовательно, начала фаз расположены равномерно по окружности.

Электрическая симметрия также выдержана, так как $30 \cdot 8 = 240$ электрических градусов. Концы фаз выходят из 7, 15 и 23-го пазов, разность между которыми также 8 пазовых делений. Как видно на схеме, равномерно расположены и перемычки, так как между соседними перемычками пропущено по одному пазу. Таким образом, в этой схеме выполнены требования и электрической симметрии, и равномерного расположения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек.

Следует учесть, что не во всех обмотках можно одновременно выполнить требования геометрической и электрической симметрии. *Если число пар полюсов кратно трем, то начала фаз и перемычки нельзя расположить равномерно по окружности.* Это видно из следующего примера.

Пример. Составим обмотку статора с данными: $z = 72$, $2p = 6$.

В этой обмотке окружность содержит $360 \cdot 3 = 1080$ электрических градусов, а угол между пазами — 15 электрических градусов. Если бы расположили три вывода равномерно по окружности (через 24 пазовых деления) в 1,25 и 49-м пазах, то между этими выводами было бы $24 \cdot 15 = 360$ электрических градусов, т. е. все выводы принадлежали бы одной фазе. А нам надо вывести начала трех разных фаз. Поэтому приходится отказаться от равномерного распределения выводов по окружности ротора и подобрать другие пазы, чтобы сохранились условия электрической симметрии обмотки.

На рис. 114 показана схема этой обмотки, из которой видно, что начало первой фазы взято, как обычно, из 1-го паза. Начало второй фазы сдвинуто вправо на 16 пазовых делений и выходит из 17-го паза. Расстояние между началами первой и второй фаз $16 \cdot 15 = 240$ электрических градусов, что удовлетворяет условиям электрической симметрии. Начало третьей фазы также сдвинуто на 16 пазовых делений, но в другую сторону от 1-го паза. Оно выходит из 57-го паза. Если к 57 прибавить 16, получится 73. Из этого числа вычтем 72 и получим 1. Так мы убедились, что между началами первой и третьей фаз также 240 электрических градусов.

Проверим угол между началами второй и третьей фаз. Для этого возьмем разность между номерами пазов, из которых начала этих фаз

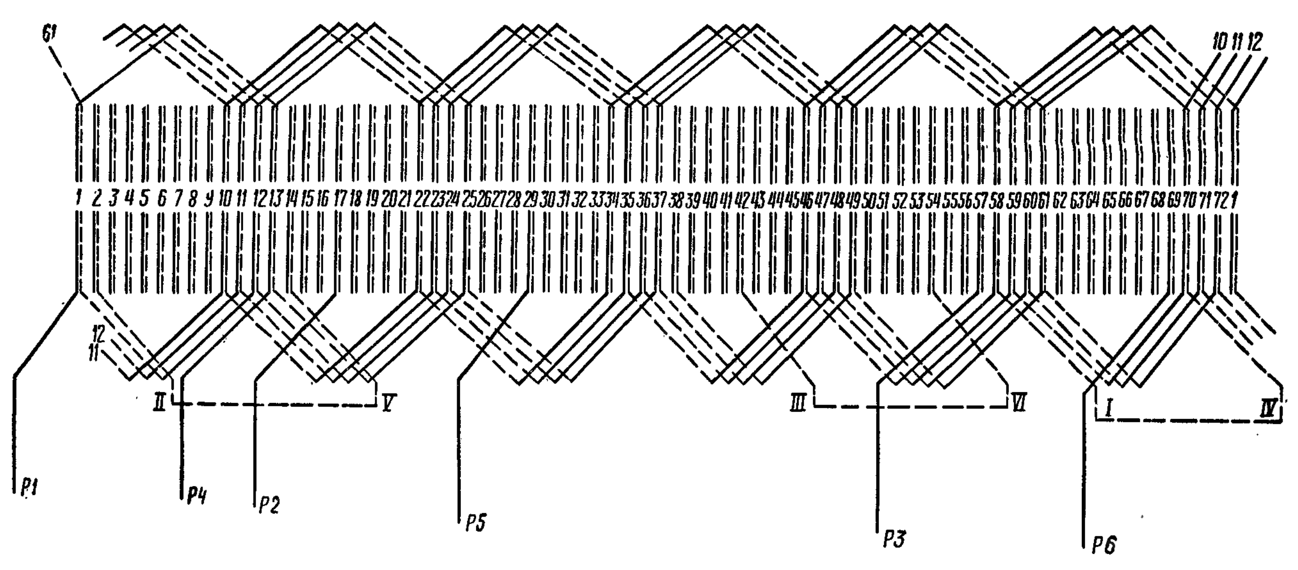


Рис. 114. Схема обмотки ротора с числом пар полюсов, кратным трем

выходят: 57—17=40 пазовых делений, что соответствует углу 40·15 = =600 электрических градусов. Вычтем полную окружность и получим 600—360 = 240 электрических градусов. Таким образом, требования электрической симметрии выдержаны для всех трех фаз. Но начала фаз не будут распределены равномерно по окружности. Это отразится и на распределении концов фаз и перемычек. Неравномерность распределения выводов и перемычек для этой же обмотки особенно наглядно показана на торцовой схеме этой обмотки.

Из рассмотрения этого примера видно, что при числе пар полюсов, кратном 3 ($2p$ = 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60), можно выдержать электрическую симметрию обмотки, подбирая расстояние между началами фаз, равное 120 или 240 электрическим градусам плюс любое целое число полных электрических окружностей. Но у этих обмоток нельзя добиться равномерного распределения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек. Поэтому при балансировке ротора потребуются большие балансировочные грузы, чтобы уравновесить смещение его центра тяжести.

§ 45. ОБМОТКИ С УДЛИНЕННЫМИ И УКОРОЧЕННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Как было сказано ранее, волновые обмотки роторов выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора, который делают удлиненным или укороченным. Чаще встречаются обмотки с укороченными переходами, которые позволяют экономить медные шины и изоляционные материалы. Однако некоторые заводы применяют обмотки с удлиненными переходами, чтобы упростить ремонт. При ремонте в процессе выравнивания концов стержней часть длины стержня срезают. В обмотках с удлиненными переходами стержни имеют некоторый запас длины, который используют при переходе на обмотку с укороченными переходами.

На рис. 115 приведена схема волновой обмотки ротора со следующими данными: z = 36; $2p$ = 4; q = 3. На схеме показаны соединения только в первой фазе. Каждая катушечная группа состоит из

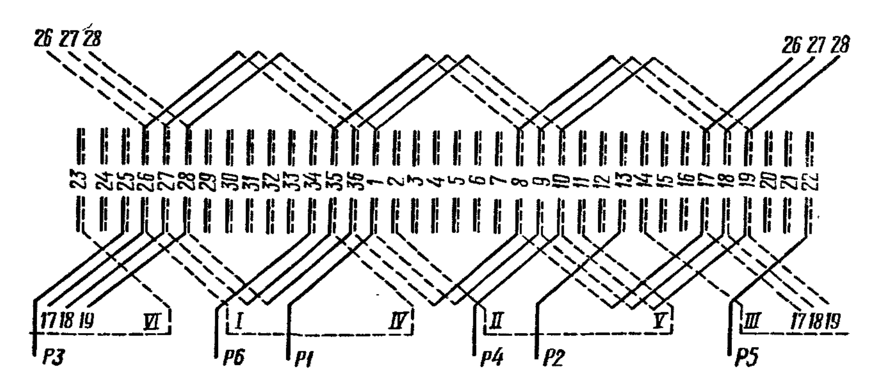


Рис. 115. Схема обмотки ротора с укороченными переходами

трех катушек, так как число пазов на полюс и фазу равно трем. Число групп в фазе равно числу полюсов, т. е. четырем.

На схеме показаны начала и концы других фаз, а также перемычки этих фаз. Ввиду того что число пар полюсов некратно трем, выводы и перемычки распределены равномерно по окружности. Для упрощения чтения схемы в местах разрывов лобовых частей обмотки поставлены числа, обозначающие номера пазов, в которые лобовые части должны попасть после перехода с одного конца схемы на другой. Это ускоряет разбор схемы и уменьшает вероятность ошибок.

Эта схема выполнена с укороченными переходами, так как в конце каждого обхода диаметральный шаг обмотки 1—10 заменяется укороченным шагом 1—9. В обмотках с укороченными переходами каждый следующий обход смещается по сравнению с предыдущим влево. Поэтому по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе видно, что эта обмотка с укороченными переходами. Начав обмотку с 1-го паза, мы перемещаемся в 36-й, а затем в 35-й паз.

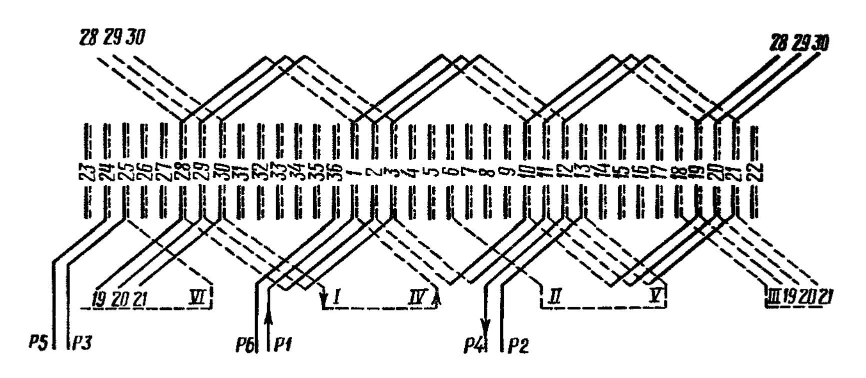


Рис. 116. Схема обмотки ротора с удлиненными и укороченными переходами

На рис. 116 показан другой вариант схемы для той же машины. Число пазов и число полюсов сохранились прежними, а следовательно, число пазов на полюс и фазу. Поэтому по внешнему виду эти схемы очень похожи одна на другую. Но при внимательном рассмотрении мы увидим разницу между ними.

Прежде всего эта обмотка с удлиненными переходами, что видно по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе. Обходя ротор, мы будем от 1-го паза смещаться во 2 и 3-й пазы. Но это не простая обмотка с удлиненными переходами. Сделав первые три обхода ротора, увидим, что после перемычки переходы становятся укороченными. Такой выбор переходов не нарушает условий симметрии обмотки. Достоинство же такой обмотки заключается в том, что в ней отсутствуют пересечения перемычек с выводами фаз. Это более удобно для выполнения обмотки.

Формулу (2) для определения шага по пазам можно выразить иначе, если в числитель вместо z подставить его значение $2pmq$. Тогда формула примет такой вид:

$$y = \frac{2pmq}{2p} = mq. \qquad (14)$$

В трехфазных обмотках число фаз равно трем, поэтому можно написать, что $y = 3q$. Таким образом, если известно число пазов на полюс и фазу, то шаг диаметральный обмотки можно определить, умножив q на 3. Тогда укороченный шаг обмотки ротора будет $y_{укор} = 3q - 1$, а удлиненный шаг $y_{удл} = 3q + 1$.

Обычно в схемах волнового типа обход катушечных групп начинается от начала фазы по часовой стрелке, а после перемычки направление обходов меняется на обратное. Примерами могут служить схемы, показанные на рис. 113, 114, 115 и 116.

§ 46. КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЫЧЕК

Перемычки в роторных обмотках волнового типа выполняют различно. В машинах средней мощности перемычки выгибают из одного куска шины вместе с двумя нижними стержнями или приваривают к этим стержням до укладки обмотки в пазы. В этом случае обмотка состоит из z верхних стержней, (z—6) нижних стержней и трех перемычек со стержнями. Стержни с такими перемычками вкладывают в пазы первыми, а перемычки помещают в выточке нажимной шайбы.

В машинах большой мощности перемычки припаивают к стержням при помощи соединительных хомутиков после укладки стержней в пазы. В этом случае для обмотки ротора заготовляют z верхних стержней и z нижних; к шести из них припаивают перемычки.

В обоих случаях наличие перемычек усложняет выполнение обмотки. Поэтому на некоторых электромашиностроительных заводах применяют обмотки роторов без перемычек. В таких обмотках поворот в каждой фазе осуществляют при помощи стержня, переходящего в пазу из одного слоя в другой.

На рис. 117, *а* показан в разрезе паз, в котором лежит переходный стержень *1*. Образовавшиеся пустые места заполнены отрезками обмоточного провода *2*, которые вкладывают для предотвращения перемещений стержня в пазу при вращении ротора.

На рис. 117, *б* изображена схема обмотки двигателя с переходными стержнями, в которой перемычки отсутствуют. Достоинство этой схемы заключается в том, что начала фаз, которые подводят к контактным кольцам, выходят из нижнего слоя обмотки, а не из верхнего, как во всех предыдущих схемах. Поэтому соединительные пластины не пропускают между стержнями нижнего слоя и все хомутики располагают симметрично по окружности.

Проследим соединения стержней в первой фазе. Начало фазы лежит в нижнем слое 1-го паза. Как видно по расположению начала фазы относительно первой катушечной группы, эту обмотку выполня-

ют с укороченными переходами и последний шаг в каждом обходе 1—9, а не 1—10. Сделав первые три обхода, приходим к стержню *26*, который является переходным в первой фазе. Он начинается в верхнем слое и на середине ротора переходит в нижний слой. В таких обмотках переходный стержень в каждой фазе сдвинут относительно начала фазы на $\left(\frac{2z}{3p} - 1\right)$ пазов в направлении, обратном ходу обмотки.

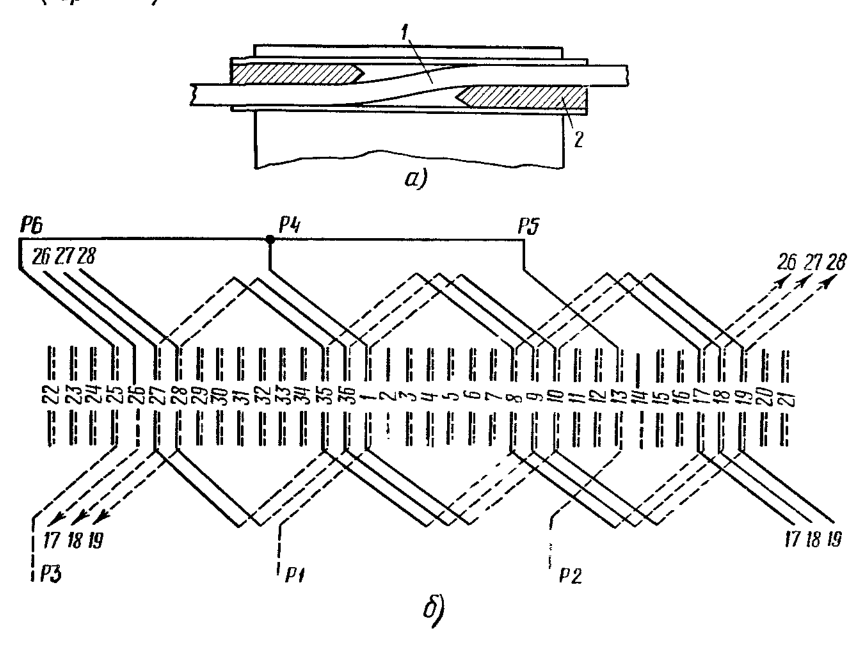


Рис. 117. Обмотка ротора с переходным стержнем:
а — паз с переходным стержнем, *б* — схема обмотки

Определим положение переходного стержня в первой фазе. Сдвиг стержня относительно начала фазы будет на $\frac{2 \cdot 36}{3 \cdot 2} - 1 = 12 - 1 = 11$ пазов. Переходной стержень будет лежать в $36 + 1 - 11 = 26$-м пазу, как это видно на схеме. Переходный стержень второй фазы будет в $13 - 11 = 2$-м пазу, а третьей фазы в $25 - 11 = 14$-м пазу. Соединение концов фаз звездой выполняют на противоположной стороне ротора. При наличии переходных стержней нарушение симметрии находится в допустимых пределах.

§ 47. ОБМОТКА С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов q на полюс и фазу в роторных обмотках не всегда бывает целым. Встречаются и дробные числа пазов на полюс и фазу, которые чаще всего выражаются целым числом с половиной. Обмотки с дробным

q приходится применять в тех случаях, когда при одном и том же штампе для листов ротора выпускают двигатели с разными скоростями вращения.

Например, асинхронный двигатель, имеющий синхронную скорость вращения 3000 об/мин и 30 пазов на роторе, требуется перемотать на меньшую скорость вращения 1500 об/мин. Согласно формуле (9) двигатель при $n = 3000$ об/мин имеет два полюса. Следовательно, число пазов на полюс и фазу у такого двигателя будет $q = \frac{30}{2 \cdot 3} = 5$. Для уменьшения скорости вращения до 1500 об/мин нужно увеличить число полюсов вдвое. Поэтому у двигателя на 1500 об/мин

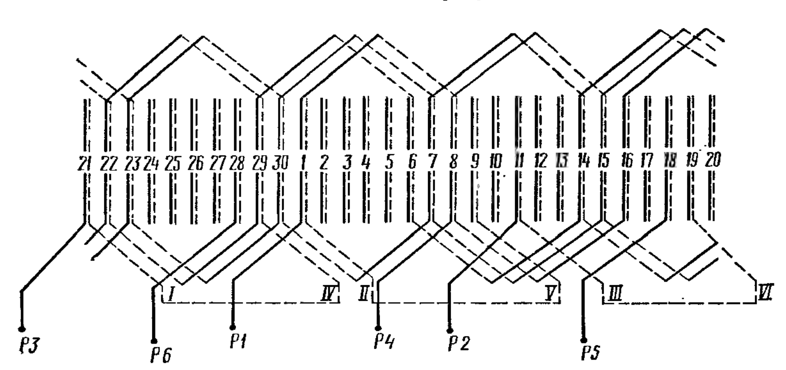


Рис. 118. Схема волновой обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу

$2p = 4$, а $q = \frac{30}{4 \cdot 3} = 2{,}5$. Схема волновой обмотки такого двигателя показана на рис. 118. В обмотках с дробным q приходится различать шаги со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, так как они должны быть различными.

Шаги выбирают по следующим формулам:

шаг со стороны, противоположной выводам,

$$y_1 = 3q \pm 0{,}5; \qquad (15)$$

шаг со стороны выводов

$$y_2 = 3q \mp 0{,}5. \qquad (16)$$

Расположение знаков + и — в формулах показывает, что если в одной формуле берут знак +, то в другой следует брать знак — и наоборот.

Для обмотки изображенной на схеме, взяты шаги $y_1 = 3 \cdot 2{,}5 - 0{,}5 = 7$; $y_2 = 3 \cdot 2{,}5 + 0{,}5 = 8$. Кроме того, в конце каждого обхода берут укороченный переход с шагом $y_3 = y_2 - 1 = 7$.

В обмотках с q, равным целому числу с половиной, приходится делать $q - 0{,}5$ обходов в одном направлении и $q + 0{,}5$ обходов в дру-

гом направлении. Как видно на схеме, катушечные группы здесь неодинаковые: одни состоят из двух катушек, а другие — из трех, что в среднем дает требуемое q, равное 2,5.

§ 48. РОТОРНЫЕ ОБМОТКИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЕТВЯМИ

В предыдущих схемах катушечные группы в фазах соединялись всюду последовательно. При больших токах ротора может появиться необходимость в параллельном соединении. При целом q каждая фаза обмотки разделена перемычкой на две одинаковые части. Поэтому переход от последовательного соединения к соединению в две параллельные ветви легко осуществить, соединив параллельно обе части каждой фазы.

На рис. 119, *а* показано расположение начала первой фазы, ее конца и перемычки этой фазы при последовательном соединении. Если разорвать перемычку и соединить вывод, идущий к перемычке и обозначенный *I*, с концом фазы *Р4*, а вывод, обозначенный *IV*, — с началом фазы *Р1*, то обе части фазы будут соединены в две параллельные ветви (рис. 119, *б*). При этом направления токов в стержнях сохранятся прежними и поэтому число полюсов обмотки останется тем же.

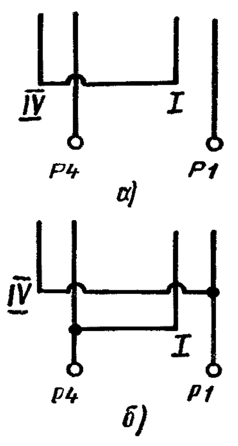


Рис. 119. Соединение двух частей обмотки:

а — последовательное, *б* — параллельное

Следует отметить, что при дробном q каждая фаза разделяется на две неодинаковые части. Так, на схеме, изображенной на рис. 118, видно что в первой фазе по одну сторону от перемычки включено 8 стержней, а по другую — 12. Поэтому соединять их параллельно нельзя. В случае необходимости параллельного соединения в обмотках с дробным q приходится прибегать к более сложным схемам с двумя перемычками в каждой фазе.

§ 49. ОБМОТОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Всякую схему можно заменить таблицей соединений, в которой числами, выражающими номера пазов, показаны все соединения между стержнями. При помощи этих же таблиц можно определить расположение концов фаз и перемычек, задавшись расположением начал фаз.

Начала фаз при числе пар полюсов, не кратном трем, располагают равномерно по окружности ротора. При числе пар полюсов, кратном трем, начало второй фазы сдвигают на $2q$ пазов назад, а начало третьей фазы — на $2q$ пазов вперед (см. рис. 114).

В каждом пазу лежат два стержня, обозначаемые в таблицах одним и тем же номером паза, в котором они расположены. На схемах верхние и нижние стержни обозначают условными линиями: сплошной

линией — верхний стержень, штриховой линией — нижний. В таблицах около номеров ставят буквы: в — для верхнего стержня и н — для нижнего. Таблицы составляют для каждой фазы отдельно. Таблица содержит число вертикальных столбиков, равное числу полюсов, и число строк, равное удвоенному числу пазов на полюс и фазу.

В табл. 11 приведены соединения для обмотки, схема которой изображена на рис. 113. Сравнивая таблицу со схемой, можно легко усвоить правила составления таблиц. В этой обмотке $2p = 4$ и $q = 2$, поэтому таблица каждой фазы состоит из четырех столбиков и четырех строк.

Таблица 11

Таблица соединений к схеме, показанной на рис. 113

I фаза	II фаза	III фаза
Р1-1в-7н-13в-19н 24в-6н-12в-18н Перемычка 24н-18в-12н-6в 1н-19в-13н-7в-Р4	Р2-9в-15н-21в-3н 8в-14н-20в-2н Перемычка 8н-2в-20н-14в 9н-3в-21н-15в-Р5	Р3 17в-23н-5в-11н 16в-22н-4в-10н Перемычка 16н-10в-4н-22в 17н-11в-5н-23в-Р6

Из таблицы видно, что, взяв начало I фазы из 1-го паза, надо соединить стержни верхнего и нижнего слоев в таком порядке: 1в с 7н, с 13в, 13 в с 19н, 19н с 24в (укороченный шаг), 24в с 6н, 6н с 12в, 12в с 18н, 18н с 24н (перемычка).

После перемычки показаны шаги в обратном направлении для второй части I фазы.

§ 50. ТОРЦОВЫЕ СХЕМЫ ОБМОТОК РОТОРА

Схемы-развертки, приведенные выше, служат для сравнения различных типов обмоток. На них обычно показывают соединения стержней только в одной из фаз. Если начертить полную схему, то она перестанет быть наглядной и в большом количестве проводов легко запутаться, делая обходы по соединениям в лобовых частях. Особенность волновых обмоток ротора заключается в том, что обмотчику приходится после укладки стержней в пазы выгибать их лобовые части и соединять хомутиками верхние стержни с нижними.

Это относительно легко выполнить на стороне, противоположной выводам, так как там все верхние стержни соединяют с нижними. Достаточно правильно соединить одну пару стержней, как другие будут соединяться подряд и поэтому не нужно при каждом соединении проверять шаг обмотки. Значительно труднее выполнять соединения на стороне выводов. Здесь шесть стержней нижнего слоя соединяют перемычки и они не участвуют в соединении со стержнями верхнего слоя. В свою очередь от стержней верхнего слоя делают выводы начал и концов фаз. Разные длины переходов требуют правильного расположения удлиненных или укороченных стержней.

· Схема-развертка с соединениями в одной фазе мало помогает обмотчику, так как соединения надо делать не по фазам, а подряд, по всей окружности ротора. Для практического пользования гораздо удобнее торцовые схемы.

Торцовая схема представляет собой вид на торец обмотанного ротора со стороны выводов (рис. 120). Стержни пронумерованы номерами пазов, в которых они лежат, но стержни верхнего и нижнего слоев сдвинуты один относительно другого на величину шага обмотки. На каждом радиусе расположены те стержни, которые требуется соединить хомутиками. Стержни, соединяемые перемычками, вынесены в третий слой, ближе к центру схемы. В середине схемы показано соединение концов фаз звездой и расположение выводов от начал фаз, соединяемых с контактными кольцами.

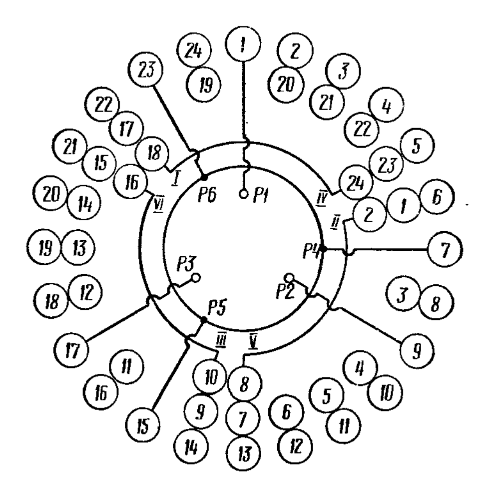


Рис. 120. Торцовая схема обмотки ротора

Ниже приводятся примеры построения торцовых схем. В качестве примеров взяты обмотки, развернутые схемы которых были приведены ранее. Так, торцовая схема с числом пар полюсов, некратным трем (рис. 120), соответствует развернутой схеме, показанной на рис. 113, торцовая схема с числом пар полюсов, кратным трем (рис. 121), соответствует развернутой схеме, изображенной на рис. 114, торцовая схема с дробным числом пазов на полюс и фазу (рис. 122) соответствует развернутой схеме, приведенной на рис. 118. Сопоставление этих схем поможет лучше усвоить правила их построения.

Для построения торцовой схемы надо провести две окружности, по которым расположатся стержни верхнего и нижнего слоев. Стержни на схемах изображены кружками, так как это позволяет начертить схему, пользуясь только циркулем. Диаметр кружка следует брать от 6 до 10 *мм* в зависимости от размеров листа бумаги. Диаметр внутренней окружности можно рассчитать по формуле

$$D_2 = \frac{dz}{3,14}, \qquad (17)$$

где d — диаметр кружка; z — число пазов.

Диаметр наружной окружности.

$$D_1 = D_2 + 2d. \qquad (18)$$

Диаметр окружности, на которой располагают стержни, соединяемые перемычками,

$$D_3 = D_2 - 2d. \qquad (19)$$

Теперь надо окружность диаметром D_2 разделить циркулем на z частей и провести z тонких радиальных линий, которые пересекут все три окружности. На наружной окружности надо начертить z кружков и занумеровать их подряд в направлении часовой стрелки. Первый стержень обычно располагают в верхней части окружности и от него ведут счет.

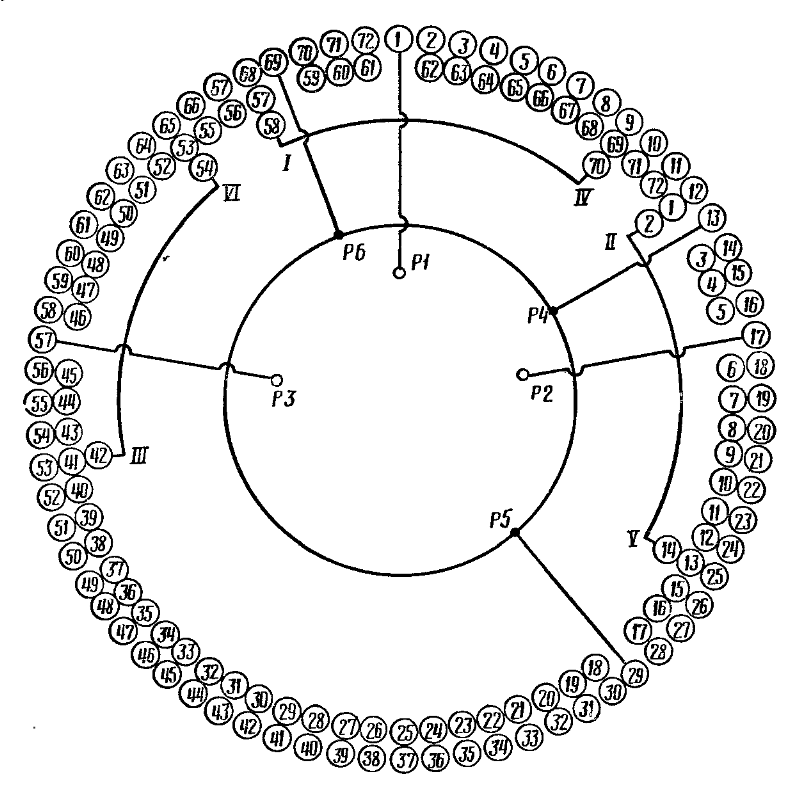


Рис. 121. Торцовая схема обмотки ротора с числом пар полюсов, кратным трем

По расчету обмотки или из таблицы берем номера пазов, из которых выходят начала и концы фаз. Проводим толстые радиальные линии и обозначаем их *P1*, *P2* и т. д. Концы фаз *P4*, *P5* и *P6* соединяем окружностью в общую точку звезды, а начала фаз *P1*, *P2* и *P3* оставляем свободными для соединения с контактными кольцами.

Самой ответственной частью построения торцовой схемы является определение сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев. Если ошибиться в определении первого стержня нижнего слоя, то вся схема будет неверной. Поэтому надо внимательно отнестись к нумерации стержней нижнего слоя.

Рассмотрим это на примере схемы, показанной на рис. 120. Из схемы (см. рис. 113), которая изображает ту же самую обмотку, нам

известно, что эта схема с укороченными переходами. По расчету схемы найдем номера пазов 1, 9, 17, 7, 15, 23-й из которых выходят начала и концы фаз в верхнем слое стержней. Теперь надо определить, где будет расположен стержень *1* нижнего слоя.

Обратимся к табл. 11. Стержень 1н мы найдем в последней строке первой фазы. Он помещается между стержнями 6в и 19в. Чтобы знать, с каким стержнем верхнего слоя должен быть соединен стержень *1* нижнего слоя, надо из табл. 11 взять тот стержень верхнего слоя, с которым 1н соединяется шагом со стороны выводов.

Схему соединений начинают с шага со стороны, противоположной выводам. Этот шаг будет первым в каждой строке. Таким образом, соединение стержней 1н—19в производят со стороны, противоположной выводам. Значит, со стороны выводов стержень 1н соединен со стержнем 6 в. Поэтому в нижнем слое стержень 1н должен находиться под стержнем 6в, что мы и видим на торцовой схеме (см. рис. 120).

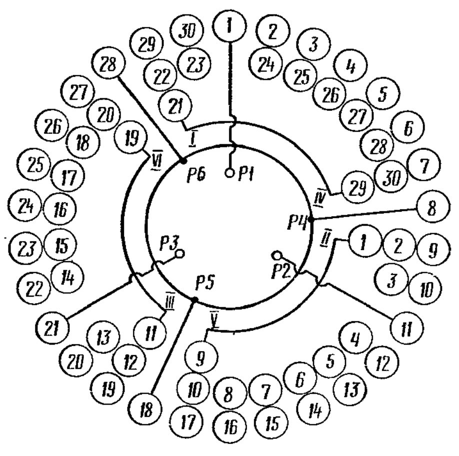


Рис. 122. Торцовая схема обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Для определения сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев можно было и не составлять полной схемы соединений, а взять только один шаг со стороны выводов. Таким шагом в начале табл. 11 будет шаг 7н—13в. Это показывает, что под стержнем *13* верхнего слоя лежит стержень *7* нижнего слоя. Можно было бы вести счет стержней нижнего слоя от стержня *7*.

Теперь пронумеруем стержни нижнего слоя тоже по часовой стрелке. Но шести стержням на этой окружности не хватит мест, так как они заняты выводами от начал и концов фаз. Поэтому шесть номеров надо перенести на третью окружность и соединить их перемычками. Номера этих стержней мы узнаем из табл. 11. На схеме эти номера надо расположить под соседними номерами нижнего слоя. На схеме видно, что стержень *2* со второй окружности перенесен на третью. Следующим стержнем этой фазы будет восьмой. Его мы соединим перемычкой со стержнем *2*. Аналогично нанесем две другие перемычки.

На рис. 123 показана другая упрощенная схема обмотки ротора, получившая название схемы с видом на хомутики. Схема содержит все необходимые данные. В ней буквами в кружках *А*, *Б* и *Z* обозначены номера пазов, а буквами *a*, *в*, *c*, *d*, *e*, *f* — числа хомутиков, расположенных между выводами фаз и промежуточных соединений.

Соединение стержней по этой схеме выполняют следующим образом. После укладки нижнего ряда стержней отмечают первый паз, а также лобовые части нижних стержней пазов *А* и *Б*. Потом уклады-

вают все верхние стержни и приступают к соединениям. На стороне, противоположной выводам, верхний стержень паза 1 соединяется с нижним стержнем паза *А*, после чего выполняются подряд все соединения на этой стороне между верхними и нижними стержнями, а затем переходят на сторону выводов. На верхний стержень паза 1 надевают вывод *Р1* — начало первой фазы. Нижний стержень паза *Б* соединяют с верхним стержнем паза *Z*, так как это обмотка с укороченными переходами.

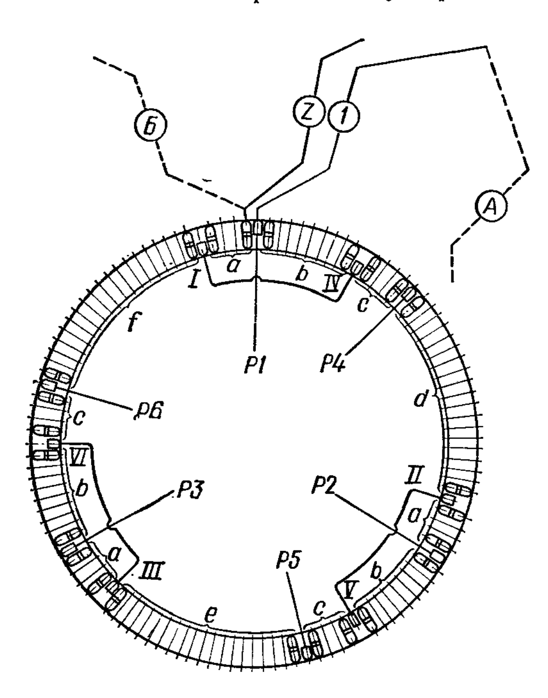


Рис. 123. Торцовая схема с видом на хомутики

Далее соединяют нижние стороны пазов *Б-1*, *Б-2*, *Б-3* и т. д. соответственно с верхними стержнями пазов *Z-1*, *Z-2*, *Z-3* и т. д. Выполняют *а* таких соединений слева от начала фазы, оставляя нижний стержень слева для присоединения промежуточного соединения. Затем справа от начала фазы аналогичным образом выполняют *в* соединений верхних и нижних стержней, оставляя нижний стержень справа для конца промежуточного соединения. Далее опять соединяют *с* пар верхних и нижних стержней и на верхний стержень справа надевают вывод *Р4* — конец первой фазы. Соединив *d* пар верхних и нижних стержней, находят нижний стержень для начала промежуточного соединения второй фазы и т. д.

§ 51. УКЛАДКА ОБМОТОК В ПАЗЫ

Стержни роторной обмотки поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью (рис. 124). Поэтому после укладки в пазы производят гибку вторых концов стержней. Для защиты изоляции стержней в пазы вкладывают гильзы из электрокартона толщиной 0,3 *мм*.

Затем приступают к укладке остальных стержней нижнего слоя. Уложенные стержни осаживают на дно паза клиновидными деревянными оправками. Изогнутые по винтовой линии лобовые части стержней осаживают на изолированную поверхность обмоткодержателей молотком через фибровую или текстолитовую прокладку.

Концы изогнутых лобовых частей стягивают мягкой стальной проволокой, плотно прижимая к обмоткодержателям. Второй проволочный бандаж наматывают посередине лобовых частей. Эти бандажи временные и служат для удержания стержней в процессе дальнейшей гибки лобовых частей. После этого приступают к гибке лобовых частей специальными ключами со стороны, противоположной выводам.

Первые стержни нельзя сразу изогнуть на требуемый схемой угол. Это объясняется тем, что рядом с ними лежат прямые части соседних стержней. Поэтому первый стержень удается изогнуть только на ве-

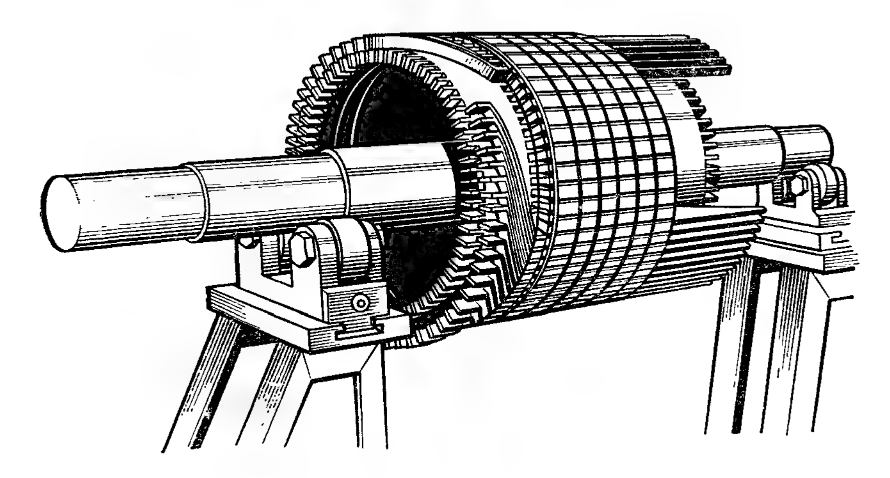


Рис. 124. Ротор в процессе укладки обмотки

личину расстояния между стержнями, второй — на двойное расстояние, третий — на тройное и т. д. Только после изгиба стержней, занимающих два-три шага обмотки, возможна гибка остальных стержней на требуемый схемой угол.

Последними дополнительно изгибают те стержни, с которых был начат процесс гибки.

Затем загибают концы стержней, на которые будут надевать соединительные хомутики. Эту операцию выполняют теми же ключами. После загибки концов снимают временные бандажи, на лобовые части накладывают изоляцию между слоями лобовых частей, указанную в чертеже, и в пазы кладут прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоев.

После этого в пазы вставляют стержни верхнего слоя со стороны, противоположной выводам. Когда все верхние стержни вложены в пазы, на стороне ротора, противоположной выводам, наматывают временные бандажи, а концы стержней на этой стороне соединяют тонкой медной проволокой для первого испытания обмотки на отсутствие замыканий на корпус.

Если изоляция стержней выдержит испытание, то загибают концы верхних стержней со стороны выводов аналогично загибке стержней

нижнего слоя с той лишь разницей, что стержни изгибают в противоположную сторону. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставят два временных бандажа, которыми верхние стороны лобовых частей прижимают к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями.

Ввиду того что в шести пазах нижнего слоя лежат стержни, соединенные перемычками, число стержней, которые нужно соединить в верхнем и нижнем слоях обмотки, неодинаково. Число стержней верхнего слоя равно числу пазов z, а число стержней нижнего слоя будет $z—6$. Из шести стержней верхнего слоя три припаивают к кольцу, при помощи которого осуществляется соединение трехфазной обмотки звездой, а три других подводят к контактным кольцам.

В процессе изготовления обмотки производят испытание прочности изоляции между обмоткой и корпусом. Один электрод от высоковольтного трансформатора присоединяют к любому из стержней обмотки, а другой — к зубцу ротора или валу. Так как все стержни соединены между собой медной проволокой, то одновременно испытывают изоляцию всех стержней.

Стержни верхнего и нижнего слоев спаивают или сваривают. Перед паянием стержни попарно соединяют медными хомутиками. Их сгибают из медной полосы на оправке так, что конец ленты перекрывает начало по одной или двум сторонам периметра хомутика. Не следует навивать хомутик из большего числа слоев ленты, потому что такие хомутики плохо пропаиваются. Слои стержней разделены изоляцией, и концы их не могут плотно прилегать один к другому. Поэтому между ними в хомутиках забивают медные клинышки. Для получения надежного соединения стержней необходимо,чтобы они плотно охватывались хомутиком и зазоры между хомутиком и стержнями были минимальными. Концы хомутиков соединяют заклепками или точечной сваркой.

§ 52. КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

Асинхронные двигатели мощностью до 1000 кВт выпускаются промышленностью преимущественно в виде электрических машин с короткозамкнутым ротором. Такие двигатели просты в эксплуатации, так как они не имеют контактных колец, щеткодержателей и щеток. В пазы вставлены неизолированные стержни, соединенные между собой кольцами на торцах ротора и образующие так называемую «беличью клетку». Для двигателей мощностью до 160 кВт пазы ротора заливают расплавленным алюминием. Одновременно отливают замыкающие кольца и вентиляционные крылья.

В двигателях нормального исполнения для заливки роторов применяют чистый алюминий, гарантирующий необходимое постоянство электрического сопротивления. Для двигателей с повышенным скольжением применяют алюминиевые сплавы.

Наиболее простым методом заливки «беличьей клетки» является статическая заливка при неподвижном роторе. Пакет ротора *5* (рис. 125) надевают на оправку *1*, спрессовывают и запирают на ней при помощи кольца *10* и штифтов, вставленных в отверстия оправки. Запрессован-

ный ротор переносят краном в печь и нагревают до 400—500°С. На вынутый из печи ротор надевают кольцо с цапфами, переворачивают его на 180° и ставят концом оправки вниз на неподвижную плиту гидравлического пресса, на которой закреплена нижняя форма *6*. На ротор надевают чугунную разъемную рубашку *4* для предохранения алюминия от вытекания через прорези пазов. Затем при помощи поршня *9* и колонок *7* опускают плиту с закрепленной на ней верхней формой *3*. В конце хода поршня ротор будет плотно зажат между плитами пресса, а бортики чугунной рубашки войдут в заточки формы.

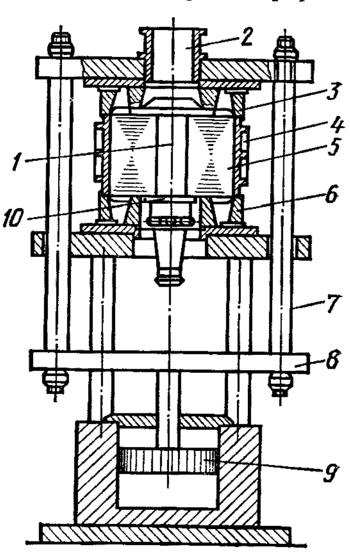


Рис. 125. Форма для заливки ротора алюминием

Ротор заливают расплавленным алюминием при 750—780°С через литниковую чашу *2*. Давление пресса выдерживают до затвердения алюминия во избежание разрыва стержней при его усадке. После этого поднимают верхнюю плиту пресса. Сначала верхняя форма снимается с залитого ротора. При дальнейшем подъеме поршня нижняя подвижная плита *8* упирается в нижнюю часть оправки и выталкивает ротор из нижней формы. Верхнюю плиту отводят в сторону и при помощи кольца с цапфами переносят ротор на другой пресс для выпрессовки из него оправки. На этом же прессе запрессовывают вал двигателя в отверстие ротора.

«Беличьи клетки» короткозамкнутых роторов двигателей большой мощности выполняют из стержней и колец из меди или медных сплавов, соединяя стержни с кольцами паянием или сваркой. Для выполнения «беличьей клетки» нарезают из прутков стержни такой длины, чтобы они выступали над поверхностью кольца на 2—4 мм. Концы стержней снимают на точильном камне на конус и забивают в пазы. Замыкающие кольца сгибают из медной полосы и сверлят в них отверстия для стержней. Зазоры между стержнями и отверстиями в кольцах должны быть 0,2—0,4 мм. Кольца надевают на концы стержней и в местах соединения пропаивают твердым припоем или сваривают.

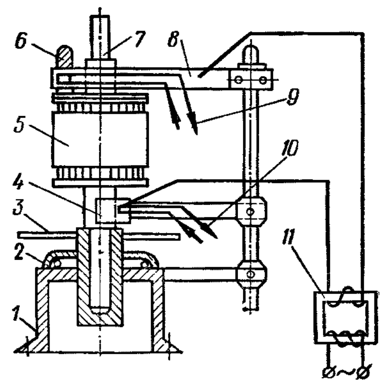


Рис. 126. Установка для паяния короткозамкнутого ротора

Для паяния ротор *5* (рис. 126) ставят на поворотный стол *2*, вращающийся на стойке *1*. Один провод от однофазного трансформатора *11* под-

веден к головке *8* угольного электрода *6*, а другой — к медному контакту *4*, прижимаемому к валу *7*. При включении тока к головке электрода подводится водяное охлаждение *9*. Контакт *4* охлаждается благодаря циркуляции воды по трубам *10*.

Стержни паяют по одному. Разогревают кольцо до температуры, при которой пруток меднофосфористого припоя, поднесенный к месту соединения, начинает плавиться, и приступают к паянию. Припой должен заполнить зазоры между кольцом и стержнем. При хорошем качестве паяния под кольцом образуется концентрический валик. После окончания паяния стол переворачивают при помощи ручек *3* и устанавливают электрод на следующий стержень. Когда будут запаяны все стержни на одной стороне, ротор переворачивают и паяют стержни на другой стороне.

§ 53. УКЛАДКА В ПАЗЫ РОТОРНЫХ ОБМОТОК ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Укладка в пазы роторной обмотки турбогенератора является сложным процессом ввиду большой длины катушек обмотки. Для укладки обмотки ротор *2* (рис. 127) устанавливают на специальное приспособле-

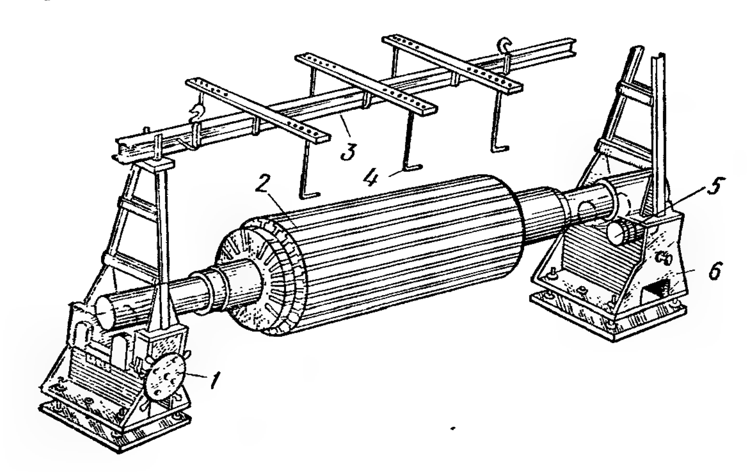


Рис. 127. Приспособление для укладки обмотки ротора турбогенератора

ние, состоящее из двух тумб *6*. Над тумбами устанавливают раму *3* из швеллеров и угольников. На крюки *4* рамы укладывают катушки обмотки. В процессе укладки обмотки шейки ротора перекатывают на роликовых опорах *5*. Для небольших турбогенераторов ролики вращают вручную при помощи маховика *1*, а для крупных турбогенераторов — электродвигателем через редуктор.

На рис. 128 показан разрез паза ротора турбогенератора с уложенной в нем обмоткой *2*. Перед началом укладки обмотки в пазы вставляют миканитовые коробки *1*, пользуясь осадочной доской. После ук-

ладки обмотки края пазовых коробок загибают внутрь паза и заклинивают его клиньями из дюралюминия.

По обеим сторонам бочки ротора выкладывают опалубку *1* (рис. 129) из досок, поверх них кладут картон толщиной 1—1,5 мм и закрепляют его киперной лентой. Опалубка служит временной опорой для лобовых частей катушек в процессе их прессовки.

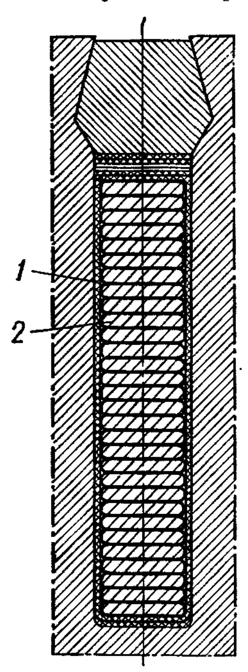


Рис. 128. Разрез паза ротора турбогенератора

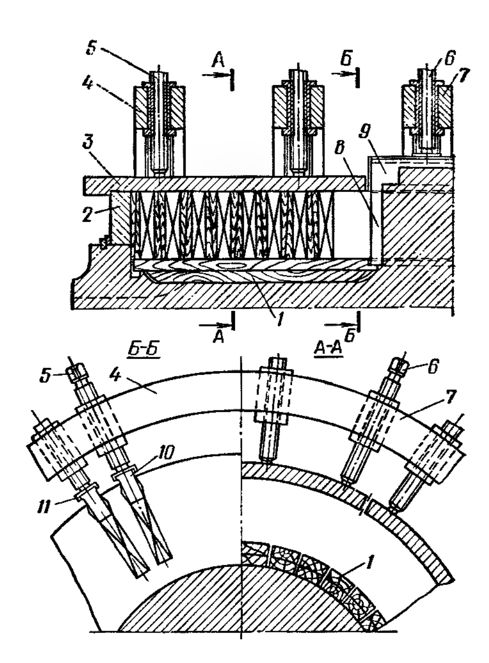


Рис. 129. Прессовка обмотки ротора турбогенератора

Обмотка ротора турбогенератора — концентрическая. Укладку обмотки в пазы начинают с внутренних катушек. На дно пазовых коробок *9* кладут изоляционные прокладки *8*. Опускают в пазы витки катушки по одному, выравнивая пазовую часть ударами молотка через буковую осадочную доску. После укладки четырех-пяти витков забивают вместо пазовых клиньев деревянные планки и заклинивают витки деревянными встречными клиньями. Затем планки и клинья вынимают и продолжают укладку следующих витков катушки.

После укладки всех катушек в паз снимают раму, на которой они были уложены в начале укладки, приподнимают ротор краном и надевают на концы вала прессовочные кольца *7* для пазовой части и временные центрирующие кольца *2*. Количество прессовочных колец зависит от длины ротора и изменяется от 3 до 20. Ротор снова опускают на роликовые опоры и размечают расположение прессующих колец. В пазы ротора поверх катушек вкладывают полоски миканита и вре-

менные прокладки из картона. Вдвигают в пазы прессовочные планки *10* с торца ротора. На них устанавливают прокладки *11* и зажимают их болтами *6*. Затем подпрессовывают пазовые части катушек болтами *6*, начиная с середины ротора.

Лобовые части катушек осаживают чугунным молотком с деревянными вставками через фибровую прокладку или осадочную подушку. Приподнимают ротор краном и надевают на шейки вала прессовочные кольца *4* для лобовых частей в количестве от 2 до 6. Устанавливают временные центрирующие кольца *2* по торцам ротора. На лобовые части навертывают листы картона и затягивают их киперной лентой. Затем накладывают сегменты брони *3*, устанавливают прессовочные кольца *4* и затягивают болты *5*.

Для прессовки обмотки ротор нагревают до 100°C, пропуская постоянный ток от генератора. Когда бочка ротора нагреется, отключают ток и приступают к прессовке обмотки болтами. Болты подтягивают до прекращения усадки обмотки. После прессовки испытывают изоляцию ротора на пробой по отношению к корпусу.

Выступающие над бочкой края коробок срезают. Пазовую часть катушки промазывают глифталевым лаком. Вводят в паз над катушкой стальную полосу и плотно прижимают ее деревянными клиньями к стенке коробки. Стальную полосу нагревают, пропуская через нее ток. Затем отключают ток, выбивают деревянные клинья и перекладывают стальную полосу между коробкой и стенкой паза. Загибают стенки коробки деревянными клиньями по всей длине паза. На загнутые левые стороны коробки загибают правые стороны.

В пазы ротора под клин кладут полоски миканита, а поверх них — стальные полосы, которые длиннее бочки ротора на 100—150 мм с каждой стороны. После заклинивания пазов клиньями из дюралюминия производят вторую прессовку лобовых частей. Для этого снимают картон и обламывают концы стальных полос. Затем снова обертывают лобовые части картоном, устанавливают сегменты брони и прессовочные кольца. Нагревают ротор пропусканием тока через обмотку и прессуют лобовые части болтами.

По окончании прессовки снимают сегменты брони, прессовочные кольца и картон. Выбивают временные клинья, удаляют опалубку. Продувают лобовые части сжатым воздухом. Между лобовой частью обмотки и валом устанавливают распорки из стеклотекстолита.

Затем производят запечку лобовых частей. Для контроля нагрева при запечке устанавливают термопары у наружной, средней и внутренней катушек. Снова ставят сегменты брони и прессовочные кольца. Нагревают ротор до 150°C пропусканием тока и прессуют лобовые части. Вторично нагревают ротор до 175°C, затем охлаждают и снимают прессовочные кольца. Наружный диаметр лобовых частей проверяют шаблоном.

Лобовые части дважды покрывают эмалью из пульверизатора, нагревая каждый раз обмотку пропусканием тока. После этого устанавливают с обеих сторон торцовые изоляционные и стальные центрирующие кольца. Поверх лобовых частей устанавливают изоляционные сегменты и закрепляют их стальными ленточными бандажами.

Прессовку лобовых частей обмотки ротора крупного турбогенератора производят с помощью кольцевых гидравлических прессов. До начала укладки обмотки под ротор подводят люнеты *1* (рис. 130, *а*), которые стоят вдоль рельсового пути и упираются в бочку ротора *2*. При помощи гидравлических подъемных механизмов этих люнетов по окончании укладки обмотки поднимают ротор. Убирают тумбы, на которых лежали шейки вала при укладке обмотки, и по рельсовым пу-

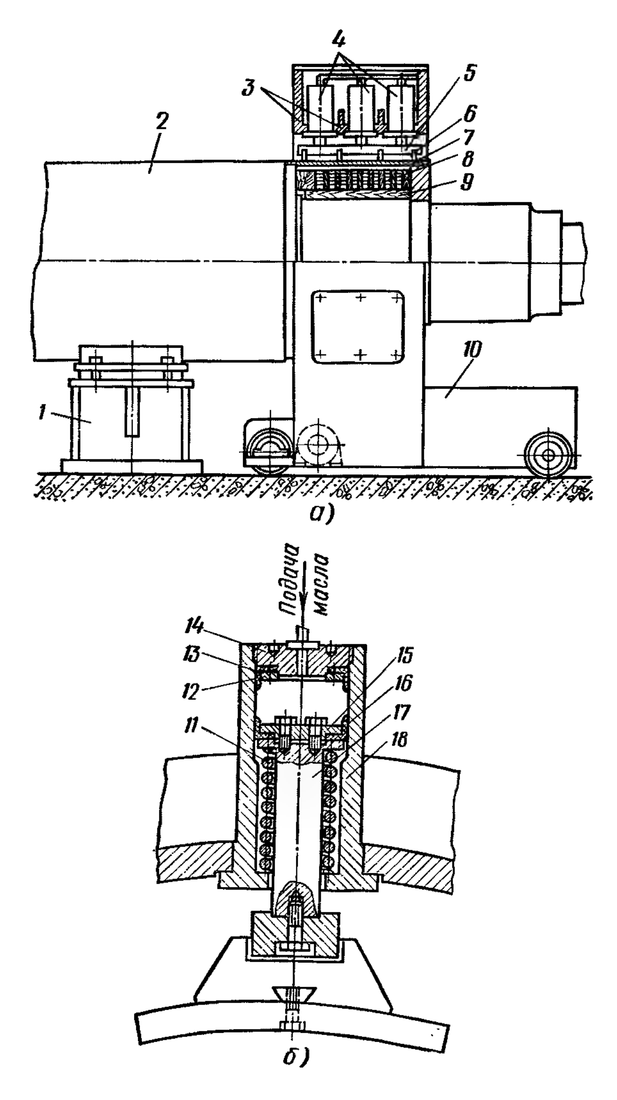


Рис. 130. Прессовка лобовых частей обмотки ротора турбогенератора:

а — общий вид установки, *б* — гидравлический цилиндр

тям подводят кольцевые гидравлические прессы при помощи привода от электродвигателей, установленных на платформе *10*.

Прессовка производится при помощи двенадцати групп гидравлических цилиндров *4*, установленных в кольце *3* по три цилиндра в группе. В поршни этих цилиндров подается масло. Поршни цилиндров соединены массивной планкой *5*, которая давит на косынки *6*, а через них на сегменты брони *7*. Давление воспринимается опалубкой *9* и прокладками *8*. Эти детали в более крупном масштабе показаны на рис. 130, *б*. Здесь же видно устройство цилиндра. Корпус *18* цилиндра врезан в кольцо *3* и закрыт сверху днищем *14*, уплотненным манжетой *13* и кольцом *12*. Поршень *17* выточен из одного куска стали со штоком и уплотнен в цилиндре манжетой *16* и диском *15*. При прессовке роторов разных диаметров заменяют только сегменты брони. Обратный ход поршней осуществляется пружинами *11*.

Управление всеми цилиндрами — автоматическое электромагнитное. Гидравлическая прессовка помимо облегчения труда и повышения производительности способствует значительному улучшению качества обмотки, так как все режимы прессовки точно выдерживаются и не может быть несимметрии в распределении давления между отдельными участками. Во избежание смещения ротора каждая пара групп цилиндров, расположенных диаметрально противоположно, управляется одним краном.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит стержневая обмотка ротора?
2. Как устроены перемычки стержневых обмоток?
3. Почему применяют обмотку с переходным стержнем?
4. Расскажите о переключении обмотки ротора на две параллельные ветви.
5. На чем основаны таблицы стержневых обмоток?
6. В каком порядке составляют торцовую схему обмотки ротора?
7. Какие особенности имеет обмотка ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу?
8. Как соединяют стержни верхнего и нижнего слоев?
9. Как укладывают в пазы обмотки роторов турбогенераторов?
10. Расскажите о прессовке в пазах обмоток турбогенераторов.

ГЛАВА IX. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ В ПАЗЫ ОБМОТОК ЯКОРЯ

§ 54. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Обмотки якоря машин постоянного тока состоят из катушек, выводы которых присоединяют к пластинам коллектора. Часть обмотки, соединенная с двумя коллекторными пластинами, называется секцией. Обычно катушка состоит из нескольких секций.

В обмотках якоря машин постоянного тока кроме шага по пазам различают еще шаг по коллектору, который обозначают $y_к$. Шаг по коллектору выражается разностью номеров коллекторных пластин, к которым подключены выводы одной секции. К каждой пластине присоединяют конец одной секции и начало другой. Таким образом, провода обмотки образуют замкнутую цепь через коллекторные пластины.

Число секций в катушке определяется соотношением между числом пазов якоря и числом пластин коллектора. Число пластин коллектора k во столько раз больше числа пазов якоря z, сколько секций $u_п$ содержит катушка обмотки.

$$k = u_п z. \quad (20)$$

Например, если катушка имеет 3 секции, а якоря 45 пазов, то число пластин коллектора

$$k = 3 \cdot 45 = 135.$$

Исключение из этого правила составляют только обмотки с «мертвыми» секциями (см. § 59).

В зависимости от шага по коллектору различают следующие обмотки якоря — простые петлевые и волновые, сложные петлевые и волновые. Обычно обмотки якоря располагаются в пазах в два слоя и являются двухслойными. Однако есть «лягушечьи» обмотки, которые располагаются в пазах в четыре слоя.

Все обмотки якоря машин постоянного тока выполняют из заранее намотанных катушек. При полузакрытой форме паза обмотки являются всыпными и изолированы от сердечника только пазовыми гильзами. При открытой форме паза катушки до укладки в пазы изолируют и пропитывают. Исключением являются обмотки якоря малых машин мощностью до 1 кВт, которые наматывают проводом непосредственно в пазы якоря. Такие обмотки называются ручными в отличие от шаблонных. Для этих обмоток применяют в массовом производстве полу-

автоматические обмоточные станки. В последнее время появились совершенно новые типы якорных обмоток, в которых обмоточные провода и коллекторные пластины заменены печатными схемами.

Для обмоток якоря используют как развернутые, так и торцовые схемы. Особенностью якорных обмоток является то, что все катушки соединяются с коллектором и располагаются в пазах симметрично. Поэтому нет необходимости чертить всю схему обмотки, достаточно указать положение на якоре первой катушки. Такие схемы называются *практическими*. Пазовые части секций и их выводные концы должны быть расположены симметрично относительно оси катушки. Поэтому перед укладкой катушек в пазы якорь размечают под обмотку.

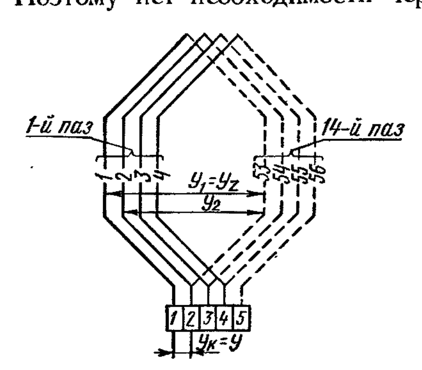


Рис. 131. Практическая схема простой петлевой обмотки

Для построения схем обмотки якоря пользуются следующими шагами обмотки (рис. 131):

y_1 — первый шаг, равный расстоянию между началом и концом секции;

y_2 — второй шаг, равный расстоянию между концом данной секции и началом следующей секции;

y — результирующий шаг, равный расстоянию между началами следующих по схеме одна за другой секций;

$y_к$ — шаг по коллектору, равный расстоянию между началами следующих по схеме одна за другой секций, измеренный по окружности коллектора;

y_z — шаг по пазам (расстояние между сторонами катушки).

Шаг между секциями определяется числом секций, шаг по коллектору — числом пластин, шаг по пазам — числом пазов.

Чтобы обмотка могла быть выполнена из одинаковых секций, надо выбрать первый шаг по формуле

$$y_1 = y_z u_п. \qquad (21)$$

Это условие не выполняется только в ступенчатых обмотках (см. § 62).

§ 55. ПРОСТАЯ ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

В петлевых обмотках секции образуют форму петель. Последовательное соединение секций обусловливает следующее соотношение между обмоточными шагами (рис. 131):

$$y = y_к = y_1 - y_2 = \pm 1. \qquad (22)$$

Если результирующий шаг положителен, то при обходе обмотки секции будут смещаться вправо (правая петлевая обмотка), а если

отрицателен, то влево (левая петлевая обмотка). В левой петлевой обмотке лобовые соединения со стороны коллектора перекрещиваются, что ведет к некоторому удлинению их. Поэтому такую обмотку применяют редко.

В простой петлевой обмотке шаг по коллектору всегда равен единице. Это значит, что начало и конец секции присоединяют к двум соседним коллекторным пластинам. На схемах и рабочих чертежах это обозначают так: шаг по коллектору 1—2. Шаг обмотки по пазам y_z показывает, на каком расстоянии должны находиться стороны катушки. Шаг по пазам, как и для двухслойных обмоток переменного тока, определяют по формуле (2).

Если число пазов не делится без остатка на число полюсов, то за шаг обмотки принимают ближайшее целое число. Например: $z = 26$, $2p = 4$, $y_z = \frac{26}{4} = 6{,}5$; шаг берут равным 6, т. е. из 1-го паза в 7-й.

В связи с тем, что каждая параллельная ветвь обмотки должна содержать секции с одинаковым направлением э. д. с. в простой петлевой обмотке получается параллельная ветвь всякий раз при обходе группы секций, находящихся между двумя соседними нейтральными зонами магнитного поля машины. А так как таких зон столько, сколько полюсов в машине, то в простой петлевой обмотке число параллельных ветвей равно числу полюсов:

$$2a = 2p. \qquad (23)$$

Для использования всех параллельных ветвей обмотки на коллекторе должно быть установлено число щеток, равное числу полюсов.

Простые петлевые обмотки применяют в машинах средней мощности низкого напряжения, чтобы разделить большой ток якоря на параллельные ветви и тем самым уменьшить сечение провода.

На рис. 131 показана практическая схема-развертка простой петлевой обмотки со следующими данными: $z = 108, 2p = 2a = 8, u_п = 4$. Верхние стороны секции проведены сплошными линиями, нижние — штриховыми. Коллекторные пластины изображены прямоугольниками.

Для равносекционной петлевой обмотки шаги обмотки определяют по следующим формулам:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{108}{8} = 13{,}5; \quad \text{принимаем} \quad y_z = 13;$$

$$y = y_к = 1;$$

$$y_1 = y_z u_п = 13 \cdot 4 = 52;$$

$$y_2 = y_1 - y = 52 - 1 = 51.$$

Число коллекторных пластин

$$k = u_п z = 4 \cdot 108 = 432.$$

На схеме видно, что стороны первой катушки лежат в пазах 1 и 14. Первую секцию верхней стороной соединяют с коллекторной плас-

тиной *1*, а нижней стороной — с коллекторной пластиной *2*. Остальные секции соединяют с другими коллекторными пластинами аналогично. Это правая петлевая обмотка, так как при обходе ее передвигаются по коллектору вправо. В пазу 1 лежат провода *1*, *2*, *3* и *4*, а в пазу 14 — провода *53*, *54*, *55*, *56*. Соединения в двухслойной обмотке производят между верхними проводами паза 1 и нижними проводами паза 14.

Упражнения. Составить практические схемы следующих простых петлевых обмоток:

1) $z = 48$, $2p = 6$, $u_п = 3$;
2) $z = 60$, $2p = 8$, $u_п = 4$;
3) $z = 65$; $2p = 10$, $u_п = 4$.

§ 56. СЛОЖНО-ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

Сложно-петлевая обмотка состоит из ряда простых петлевых обмоток, присоединенных к одному коллектору. В результате число параллельных ветвей обмотки увеличивается. Например, если взять m простых обмоток, то в сложной обмотке число параллельных ветвей будет в m раз больше, чем в простой. Таким образом, число параллельных ветвей сложно-петлевой обмотки:

$$2a = 2pm. \qquad (24)$$

Сложно-петлевую обмотку называют также множественно-петлевой. В сложно-петлевой обмотке для равномерного и симметричного расположения на якоре простых обмоток секции последних чередуются. Первую секцию относят к первой простой обмотке, вторую — ко второй и т. д.

Результирующий шаг обмотки и шаг по коллектору выражают формулой

$$y = y_к = \pm m. \qquad (25)$$

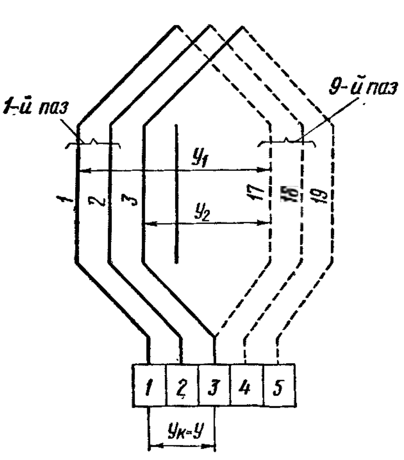


Рис. 132. Практическая схема сложно-петлевой обмотки

Обычно применяют правую сложно-петлевую обмотку, у которой перед m стоит знак плюс. Остальные шаги обмотки рассчитывают так же, как и простой петлевой.

К сложно-петлевым обмоткам прибегают в тех случаях, когда нужно увеличить число параллельных ветвей обмотки, чтобы снизить ток в каждой параллельной ветви. Это бывает необходимо в низковольтных машинах или машинах большой мощности, у которых велик ток якоря. Часто используют двукратную сложно-петлевую обмотку с $m = 2$. Число щеток по окружности коллектора в сложно-петлевой обмотке равно числу полюсов.

На рис. 132 показана практическая схема сложно-петлевой обмотки со следующими данными: $z = 32$, $2p = 4$; $u_п = 2$; $m = 2$.

Остальные данные обмотки рассчитывают по формуле:

$$2a = 2pm = 8;$$

$$k = u_п z = 64;$$

$$y_z = \frac{z}{2p} = 8;$$

$$y = y_к = 2;$$

$$y_1 = y_z u_п = 16;$$

$$y_2 = y_1 - y = 14.$$

Если $y_к$ и k имеют общий наибольший делитель q, то сложная обмотка будет состоять из q отдельных замкнутых обмоток. При $q = 2$ получим двукратнозамкнутую обмотку.

При обходе двукратнозамкнутой обмотки секции первой обмотки будут соединены с нечетными коллекторными пластинами, а секции второй обмотки — с четными. Таким образом, эти обмотки не соединены между собой на якоре и замыкаются только через щетки.

В обмотке, схема которой изображена на рис. 132, общий наибольший делитель для $y_к$ и k будет $q = 2$. Поэтому обмотка является двукратнозамкнутой. Как видно на схеме, первая обмотка соединена с нечетными пластинами коллектора. Если продолжить схему, то будет видно, что она замкнется на пластине *1*. Вторая обмотка начнется с пластины коллектора *2* и будет соединяться только с четными пластинами.

Если $y_к$ и k не имеют общего делителя, то обмотка будет однократнозамкнутой. При обходе такой обмотки вначале будем попадать только на нечетные пластины коллектора, затем перейдем на четные, после чего обмотка замкнется на той же коллекторной пластине, с которой началась, т. е. на коллекторной пластине *1*.

Упражнения. Составить практические схемы следующих сложно-петлевых обмоток:

1) $z = 32$, $2p = 4$, $u_п = 2$, $m = 2$;
2) $z = 36$, $2p = 4$, $u_п = 3$, $m = 2$;
3) $z = 42$, $2p = 6$, $u_п = 3$, $m = 2$.

§ 57. ПРОСТАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Характерная особенность волновой обмотки заключается в том, что выводные концы секций присоединяют не к соседним коллекторным пластинам, как в петлевой обмотке, а к двум коллекторным пластинам, расстояние между которыми равно двойному полюсному делению. В четырехполюсной машине эти пластины расположены на противоположных сторонах коллектора. Сделав обход окружности якоря в виде волн, следует попасть на коллекторную пластину, соседнюю с той, от которой начат обход якоря.

Шаг волновой обмотки по коллектору определяют по формуле

$$y_к = \frac{k \pm 1}{p}. \tag{26}$$

Шаг по коллектору должен выражаться целым числом. Поэтому в четырехполюсной машине ($p = 2$) число коллекторных пластин при волновой обмотке обязательно должно быть нечетным.

Волновая обмотка может быть правой или левой. В первом случае, обойдя якорь, приходят к коллекторной пластине, расположенной справа от первой, а во втором случае — расположенной слева от первой.

Чтобы получить правую обмотку, нужно в формуле (26), определяющей шаг по коллектору, взять в числителе знак +. В противоположность правой петлевой обмотке правая волновая обмотка получается с перекрещенными концами у коллектора, поэтому на практике ее избегают. Предпочитают применять левую волновую обмотку, для которой шаг по коллектору выражается формулой

$$y_к = \frac{k - 1}{p}. \tag{27}$$

Первый и второй шаги волновой обмотки связаны формулой

$$y_1 + y_2 = y = y_к. \tag{28}$$

Число параллельных ветвей волновой обмотки не зависит от числа полюсов машины и для простой волновой обмотки равно двум.

$$2a = 2. \tag{29}$$

В простой волновой обмотке на коллекторе могут быть установлены только две щетки на расстоянии полюсного деления одна от другой. Так, например, в четырехполюсной машине можно установить две щетки под углом 90° одна к другой. Возможность установки уменьшенного числа щеток объясняется тем, что щетка заданной полярности, стоящая на коллекторной пластине, соединена с остальными пластинами соответствующих нейтральных зон через секции, в которых э. д. с. практически не наводятся.

Машины с уменьшенным числом щеток применяют только в тех случаях, когда доступ к коллектору затруднен. Например, в некоторых трамвайных двигателях ставят на коллекторе только две щетки, которые можно осматривать через люк в дне вагона. Обычно же число щеток по окружности коллектора берут равным числу полюсов, уменьшая тем самым ток, проходящий через каждую щетку, а следовательно, ее размеры и длину коллектора.

Составим практическую торцовую схему простой волновой обмотки со следующими данными: $z = 31$, $2p = 4$, $u_п = 3$.

Рассчитаем шаги обмотки:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{31}{4} = 7{,}75; \text{ принимаем } y_z = 8;$$

$$k = u_п z = 3 \cdot 31 = 93;$$

$$y_к = \frac{k - 1}{p} = \frac{93 - 1}{2} = 46;$$

$$y_1 = y_z u_п = 8 \cdot 3 = 24;$$

$$y_2 = y_к - y_1 = 46 - 24 = 22.$$

На рис. 133 показана практическая торцовая схема обмотки с данными, приведенными в примере. Она является более наглядной, чем схема-развертка. На схеме показана только первая катушка, поэтому шаг y_2 не показан. На этой схеме с коллекторной пластиной *1* соединен не крайний верхний провод паза *1*, а средний. Кроме того, на схеме показаны паз *5* и коллекторная пластина *24*, которые с секциями первой катушки не соединены (см. § 65).

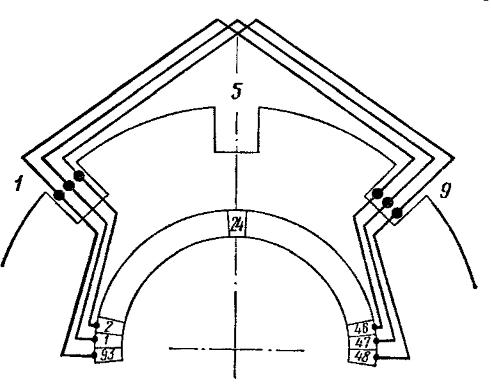


Рис. 133. Практическая схема простой волновой обмотки

Как видно из формул (26) и (27), волновая обмотка может быть выполнена не при всяком числе пластин коллектора k. Шаг по коллектору $y_к$ обязательно должен быть целым числом, поэтому числители этих формул должны без остатка делиться на знаменатель. С другой стороны, число коллекторных пластин должно быть равно произведению числа пазов z на число секций в катушке $u_п$. Таким образом, шаг по коллектору зависит от числа секций в катушке $u_п$ и числа пар полюсов p.

В симметричной волновой обмотке число секций в катушке и число пар полюсов не должны иметь общего делителя, большего единицы.

Например, в обмотке с $u_п = 3$ и $p = 3$ шаг по коллектору

$$y_к = \frac{z \cdot 3 \pm 1}{3}.$$

Легко убедиться, что какое бы число пазов z мы не подставляли в эту формулу, шаг по коллектору $y_к$ не будет целым числом.

Упражнения. Составить практические схемы простых волновых обмоток:
1) $z = 41$, $2p = 4$, $u = 3$;
2) $z = 49$, $2p = 6$, $u = 4$;
3) $z = 63$, $2p = 8$, $u = 3$.

§ 58. ТАБЛИЦЫ ЯКОРНЫХ ОБМОТОК

Иногда приходится обматывать якорь, для которого нет готовой схемы. Вычерчивание схемы занимает много времени и требует наличия чертежных принадлежностей. Но можно обматывать якорь и без схемы, составив таблицу соединений.

Ниже показан на примере волновой обмотки порядок вычислений для составления таблицы. Составление таблицы особенно важно для волновой обмотки, так как на практической схеме (рис. 133) не видно, что будет после первого обхода якоря по схеме. Если в практическую схему вкралась ошибка, то вся обмотка будет неправильно выполнена. При помощи таблицы можно быстро проверить выполнимость обмотки.

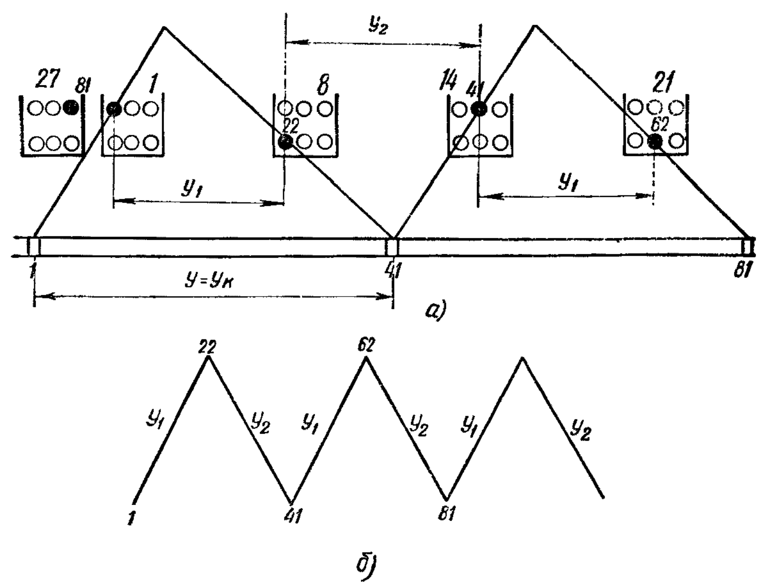


Рис. 134. Эскизы к составлению таблицы обмотки:
а — схематическое изображение обмотки, *б* — табличное изображение обмотки

Рассмотрим составление таблицы для простой волновой обмотки со следующими данными: $z = 27$, $2p = 4$, $u_п = 3$.

Число коллекторных пластин в такой обмотке

$$k = u_п z = 3 \cdot 27 = 81.$$

Шаг по коллектору

$$y_к = \frac{81 - 1}{2} = 40.$$

Шаг по пазам

$$y_z = \frac{27}{4} = 6,75; \text{ принимаем } y_z = 7.$$

Первый шаг

$$y_1 = 7 \cdot 3 = 21.$$

Второй шаг

$$y_2 = 40 - 21 = 19.$$

Теперь есть все данные для составления таблицы. Для наглядности будем параллельно с вычислением таблицы рисовать схематическое изображение обмотки (рис. 134, *а*). Так как катушка имеет три секции, то в каждом пазу будет шесть проводов (три верхних и три нижних). Они изображены в пазах шестью кружочками, расположенными в два слоя. Ниже пазов проведем две черты и между ними квадратиками будем обозначать коллекторные пластины.

Расчет схемы и составление таблицы начинаем с провода 1, который лежит в верхнем слое первого паза крайним слева. Соединим его с коллекторной пластиной 1. Теперь нужно соединить этот провод с другим проводом обмотки со стороны, противоположной коллектору. Для этого следует к номеру провода прибавить первый шаг. Получим $1 + 21 = 22$, т. е. провод 1 надо соединить с проводом 22.

Но мы еще не знаем, в каком пазу лежит этот провод и какое место он в нем занимает. Для ответа на этот вопрос пронумеруем провода первого паза цифрами 1, 2, 3. Теперь нетрудно узнать, где будет расположен провод 22. Так как в пазу находятся три секции в каждом слое, то полученное число 22 надо разделить на 3. Получим 7 и 1 в остатке. Остаток показывает, что провод 22 лежит первым с левого края паза. Частное от деления 7 показывает шаг по пазам, т. е. что этот провод будет лежать в $1 + 7 = 8$-м пазу. Обмотка двухслойиая, поэтому провод должен лежать в нижнем слое паза. Посмотрим, к какой ксллекторной пластине он должен быть присоединен. Для этого к пластине 1 надо прибавить шаг по коллектору. Получим $1 + 40 = 41$, т. е. провод присоединяется к 41-й коллекторной пластине.

Теперь нужно узнать, с каким проводом должен быть соедииен провод 22. Для этого к номеру провода прибавим второй шаг и получим $22 + 19 = 41$. Разделив 41 на 3, узнаем, что провод лежит в $1 + 13 = 14$-м пазу и занимает второе место от края в верхнем слое. Мы видим, что провод 22, лежащий в 8-м пазу слева, соединяется с проводом 41, лежащим в середине 14-го паза. Это вполне возможно, так как провода 22 и 41 относятся к разным катушкам.

К номеру провода 41 снова прибавим первый шаг и получим $41 + 21 = 62$. Разделив 62 на 3, получим 20 и 2 в остатке. Это значит, что провод 62 лежит в 21-м пазу и занимает второе место в нижнем слое, т. е. расположен в пазу симметрично проводу 41.

Чтобы узнать, с какой коллекторной пластиной должен быть соединен провод 62, прибавим к номеру 41 пластины шаг по коллектору. Получим $41 + 40 = 81$, т. е. мы пришли к коллекторной пластине, которая на коллекторе расположена рядом с пластиной 1, слева от нее. Это и требуется для простой левой волновой обмотки. Для того чтобы закончить один обход схемы, прибавим к проводу 62 второй шаг и получим $62 + 19 = 81$. Согласно тем же рассуждениям этот провод занимает третье место слева в верхнем слое 27-го паза, который на якоре расположен рядом с пазом 1.

Первый обход якоря показал, что шаги обмотки выбраны правильно. Если будем продолжать обходы якоря, то займем провода и коллекторные пластины, лежащие рядом с проводами и пластинами первого обхода.

Если требуется удостовериться в том, что, обойдя всю обмотку, мы снова придем к проводу 1, можно рассчитать и построить упрощенную схему обмотки без изображения пазов и коллекторных пластин. Для этого нужно к проводу 1 прибавить первый шаг и т. д. Такую таблицу можно изобразить в виде зигзагообразной линии, показанной на рис. 134, *б*. После обхода всех проводов мы должны обязательно снова прийти к проводу 1.

Аналогичную схему можно построить для петлевой обмотки.

Упражнения. Составить таблицы обмоток:
1) волновой с $z = 64$, $2p = 5$, $u_п = 4$;
2) волновой с $z = 51$, $2p = 8$, $u_п = 3$;
3) петлевой с $z = 32$, $2p = 8$, $u_п = 4$.

§ 59. ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С «МЕРТВЫМИ» СЕКЦИЯМИ

В волновых обмотках число коллекторных пластин должно удовлетворять следующим двум условиям: число коллекторных пластин по формуле (20) должно быть равно числу пазов, умноженному на число секций в катушках: шаг по коллектору по формуле (26) должен быть целым числом. На практике встречаются обмотки, при которых оба эти условия не могут быть выполнены.

Разберем такой пример: число пазов $z = 20$, число секций в катушке $u_п = 1$, число полюсов $2p = 4$. По первому условию число коллекторных пластин должно быть $k = 20 \cdot 1 = 20$. По второму условию для четырехполюсной машины число коллекторных пластин должно быть обязательно нечетным. Таким образом, приходится нарушить первое условие и взять коллектор с 19 пластинами. Тогда для одной секции не хватит места на коллекторе. Поэтому у одной секции отрезают выводы и не присоединяют их к коллектору. Такие секции называют «мертвыми», потому что они, хотя и лежат в пазах, но не соединены с остальными проводами обмотки и ток в них не протекает.

Схема волновой обмотки с мертвой секцией показана на рис. 135, *а*, где мертвые провода обозначены жирными линиями. Обычно мертвые провода располагают на якоре так, чтобы верхний провод лежал в последнем пазу якоря, а нижний отстоял от него на величину шага обмотки. Мертвые провода могут быть только в волновых обмотках. В петлевых обмотках число коллекторных пластин не связано двумя указанными условиями и мертвых проводов в них не бывает.

Мертвые провода нарушают симметрию в обмотке и вызывают искрение под щетками. На эти провода бесполезно затрачивается медь, но оставлять места мертвых проводов пустыми или заполнять их легкими изоляционными материалами нельзя, так как при этом сместится центр тяжести якоря и его трудно будет сбалансировать.

Уменьшить число коллекторных пластин на одну легко при изготовлении новой машины на заводе. Но часто приходится применять волновую обмотку, имея готовый якорь с коллектором. В таком случае поступают следующим образом (рис. 135, *б*). Вместо того чтобы де-

лать мертвую секцию, лежащую в пазах 4 и 20 соединяют ее верхний провод с верхним же проводом паза 14, а нижний провод — с верхним проводом паза 19. Это соединение, показанное горизонтальной жирной линией, выполняют проводом, огибающим лобовые части обмотки яко-

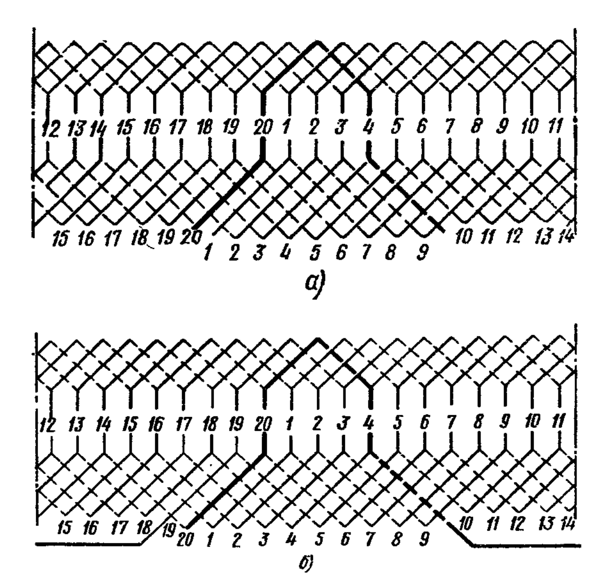


Рис. 135. Схемы несимметричных волновых обмоток:

а — обмотка с мертвой секцией, *б* — искусственно-замкнутая обмотка

ря. Теперь на якоре использованы все 20 катушек, а на коллекторе — все 20 пластин. Таким образом, не пришлось переделывать коллектор и обмотка получилась без мертвой секции. Обмотка, схема которой показана на рис. 135, *б*, называется *искусственно-замкнутой*.

§ 60. СЛОЖНО-ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Сложно-волновая обмотка представляет собой несколько волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Число параллельных ветвей двукратной волновой обмотки будет в два раза больше числа параллельных ветвей простой волновой обмотки. Поэтому при любом числе полюсов число параллельных ветвей равно четырем.

$$2a = 4.$$

Сделав полный обход якоря, следует прийти к коллекторной пластине, лежащей не рядом с первой, а не доходя до нее на одну пластину. Чтобы выполнить это условие, шаг по коллектору двукратной левой волновой обмотки должен быть

$$y_к = \frac{k-2}{p}. \qquad (30)$$

Если число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, то обмотка будет однократно-замкнутая. Это значит, что, начав обход с пластины 1, снова приходят к ней, обойдя все провода обмотки. Если же число пар параллельных ветвей обмотки и шаг по коллектору имеют общий делитель, то сложно-волновая обмотка будет состоять из двух самостоятельных обмоток, как бы вложенных одна в другую и соединяющихся между собой через щетки. Сложно-волновые обмотки применяют в сочетании с петлевыми в лягушечьих обмотках (см. § 63).

Дана сложно-волновая обмотка: $z = 58$, $2p = 8$, $u_п = 3$, $m = 2$.

Число пластин коллектора по формуле (20):

$$k = 3 \cdot 58 = 174.$$

Шаг по коллектору по формуле (30):

$$y_к = \frac{174 - 2}{4} = 43.$$

Число параллельных ветвей

$$2a = 4.$$

Число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, следовательно, обмотка однократнозамкнутая.

Упражнение. Рассчитать сложно-волновую обмотку со следующими данными: $z = 76$, $2p = 6$, $u_п = 2$, $m = 2$ — и определить, будет ли она однократно- или двукратнозамкнутой.

§ 61. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В петлевых обмотках каждая параллельная ветвь обмотки расположена под парой соседних полюсов. Поэтому неравенство потоков отдельных пар полюсов вызывает неравенство э. д. с. отдельных параллельных ветвей обмотки. Неравенство потоков может быть вызвано или неравномерностью зазоров между якорем и полюсами, или наличием раковин в отливках магнитных станин. Это вызывает уравнительные токи между отдельными параллельными ветвями, проходящие через щетки и шины, соединяющие щетки одинаковой полярности.

Ввиду того что сопротивление этой цепи ничтожно, даже небольшая разница э. д. с. приводит к большим уравнительным токам, которые нагружают щетки и вызывают искрение на коллекторе. Для борьбы с такими токами обмотку снабжают уравнительными соединениями. Их выполняют из медных проводов, соединяющих коллекторные пластины, лежащие под щетками одинаковой полярности.

При наличии уравнительных соединений уравнительный ток не будет проходить через щетки. Но уравнительные соединения служат не только для разгрузки щеток. Протекающий по ним ток создает магнитное поле, которое усиливает магнитный поток машины в тех местах, где он ослаблен, и уменьшает магнитный поток там, где он усилен.

Таким образом, уравнительные соединения устраняют саму причину, вызывающую уравнительные токи.

Уравнительные соединения чаще всего помещают под лобовыми частями обмотки и вкладывают в прорези коллекторных пластин перед укладкой катушек обмотки. В машинах средней мощности уравнительные соединения ставят не во все коллекторные пластины. Считается достаточным, если одно уравнительное соединение приходится на паз якоря, а число таких соединений равно числу пазов. Поперечное сечение провода для уравнительных соединений берут от $^1/_5$ до $^1/_3$ сечения провода обмотки.

Шаг уравнительных соединений равен числу коллекторных пластин, разделенному на число пар параллельных ветвей:

$$y_{\text{ур}} = \frac{k}{a}. \quad (31)$$

Этот шаг должен выражаться целым числом, поэтому необходимо, чтобы в машинах с уравнительными соединениями число пластин коллектора делилось без остатка на число пар параллельных ветвей.

Определим шаг и число уравнительных соединений петлевой обмотки якоря со следующими данными: $z = 54$, $2p = 6$, $u_{\text{п}} = 3$, $k = 54 \cdot 3 = 162$.

Шаг уравнительных соединений:

$$y_{\text{ур}} = \frac{k}{a} = \frac{162}{3} = 54, \text{ т. е. } 1 - 55.$$

Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнительным соединением, равно числу пар полюсов, т. е. трем. Если уравнительные соединения будут поставлены через две коллекторные пластины, то всего на якорь потребуется 162 : 9 = 18 уравнительных соединений. Расстановка их может быть выражена следующей таблицей, указывающей номера коллекторных пластин, к которым присоединяется уравнительное соединение:

1-е	уравнительное	соединение	1—55—109—1;
2-е	»	»	4—58—112—4;
3-е	»	»	7—61—115—7;
4-е	»	»	10—64—118—10;
5-е	»	»	13—67—121—13 и т. д.

Уравнительные соединения конструктивно выполняют в виде колец или вилок. В первом случае каждое уравнительное соединение будет представлять собой кольцо из провода с тремя симметрично расположенными отпайками, присоединяемыми к коллекторным пластинам 1—55—109 и т. д. Во втором случае каждое уравнительное соединение будет состоять из трех вилок. Первая вилка соединяет пластины 1 и 55, а вторая — 55 и 109, третья — 109 и 1.

В четырехполюсной машине каждое уравнительное соединение должно замыкать две противоположные точки обмотки, отстоящие одна от другой на двойное полюсное деление. Такие соединения удобнее делать в виде вилок, которые припаивают к хомутикам секции или к

пластинам коллектора. При большом числе полюсов каждое уравнительное соединение должно состоять из нескольких вилок, число которых равно числу пар полюсов. Чтобы облегчить выполнение уравнительных соединений в многополюсных машинах, их делают в виде колец с числом отпаек, равным числу пар полюсов. Уравнительные соединения выполняют из обмоточной меди или из голых медных шин и изолируют так же, как и секции обмотки.

Простые волновые обмотки не требуют уравнительных соединений, так как провода каждой параллельной ветви располагаются под всеми полюсами. Поэтому неравенство потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных ветвях и э. д. с. в них будут равны.

Для сложно-волновых обмоток необходимы уравнительные соединения. Соседние коллекторные пластины принадлежат разным простым волновым обмоткам. Если переходные сопротивления между щетками и коллекторными пластинами, относящимися к разным обмоткам, будут не равны, то и токи в отдельных волновых обмотках также будут распределяться обратно пропорционально сопротивлениям. Неравномерное распределение тока между отдельными волновыми обмотками повлечет за собой неравные падения напряжения, вследствие чего напряжения между соседними коллекторными пластинами могут сильно увеличиться. Чтобы избежать повышения напряжения между соседними пластинами и выровнять его, необходимо простые волновые обмотки, составляющие сложно-волновую обмотку, связать между собой уравнительными соединениями.

На рис. 136, *а* показана часть схемы сложно-волновой обмотки со следующими данными: $2p = 8$, $z = 78$; $u_п = 3$; $k = 78 \cdot 3 = 234$. Определим шаг по коллектору и шаг уравнительных соединений:

$$y_к = \frac{234 - 2}{4} = 58; \quad y_{ур} = \frac{234}{2} = 117.$$

Между пластинами 1 и 3 включены последовательно четыре секции. Чтобы коллекторная пластина 2 делила напряжение между ними пополам, ее необходимо соединить с пластиной 119, которая относится к другой обмотке и находится посередине между пластинами 1 и 3 на противоположной точке схемы. При нечетном числе пар полюсов уравнительным соединением соединяют точки схемы, находящиеся на противоположных торцах якоря, и соединение проходит вдоль якоря, как показано на схеме шестиполюсной обмотки (рис. 136, *б*). Число уравнителей в сложно-волновой обмотке берется около двух на полюс.

В сложно-петлевой обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток, для устранения возникновения уравнительных токов вследствие неравенства магнитных потоков отдельных полюсов каждая из обмоток должна быть выполнена с уравнительными соединениями. Шаг уравнительных соедиений

$$y_{ур} = \frac{k}{p}. \tag{32}$$

Уравнительные соединения для одной обмотки выполняют со стороны коллектора, для другой — со стороны, противоположной коллектору. Кроме того, для равномерного распределения напряжений между соседними коллекторными пластинами обе обмотки должны быть

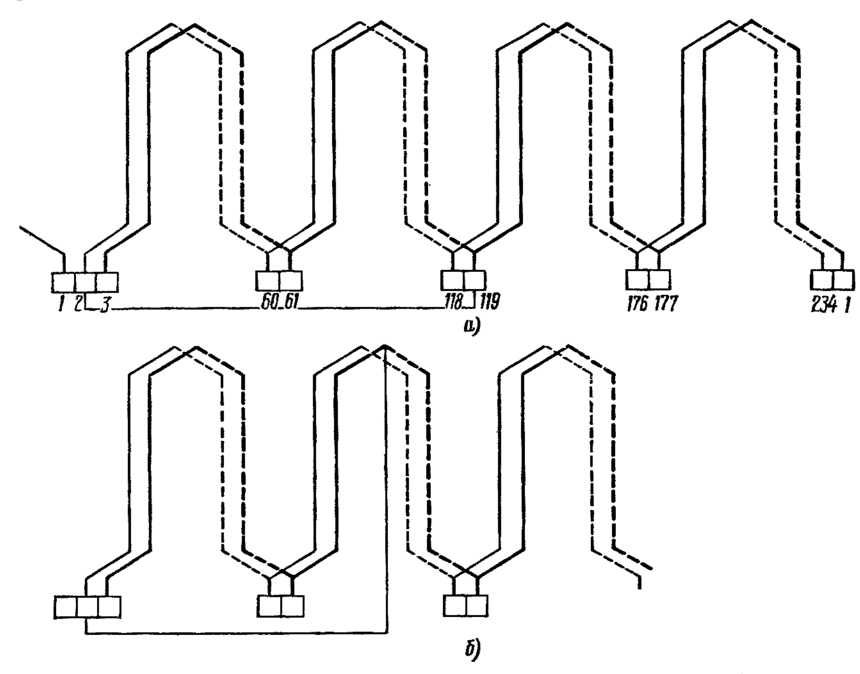


Рис. 136. Уравнительные соединения в сложно-волновых обмотках:
а — при четном числе пар полюсов, *б* — при нечетном числе пар полюсов

связаны между собой уравнительными соединениями. Эти соединения протягивают с одной стороны якоря на другую. Их укладывают в промежутках между ребрами якорной втулки или через осевые каналы якоря.

На рис. 137 изображена часть схемы сложно-петлевой обмотки с уравнительными соединениями. Данные этой обмотки: $2p = 4$; $z = 20$; $k = 20$, число параллельных ветвей $2a = 8$. На схеме провода, которые относятся к двум петлевым обмоткам, составляющим сложно-петлевую обмотку, изображены тонкой и толстой линиями. Уравнительные соединения (на схеме A, B, C и D) расположены с обеих сторон якоря.

Шаг уравнительных соединений согласно формуле (32):

$$y_{\text{ур}} = \frac{k}{p} = \frac{20}{2} = 10.$$

Уравнительные соединения между обмотками обозначены линиями ab и cd, переходящими с одной стороны якоря на другую (с левой стороны схемы).

Из схемы видно, что уравнительное соединение *ab* соединяет середину секции, состоящей из проводов 2 и 8, с коллекторной пластиной 3, относящейся ко второй петлевой обмотке. Благодаря такому соединению напряжение между пластинами 2 и 4 делится коллекторной пластиной 3 пополам. Напряжение между коллекторными пластинами 2 и 3 и пластинами 3 и 4 равно напряжению одного провода.

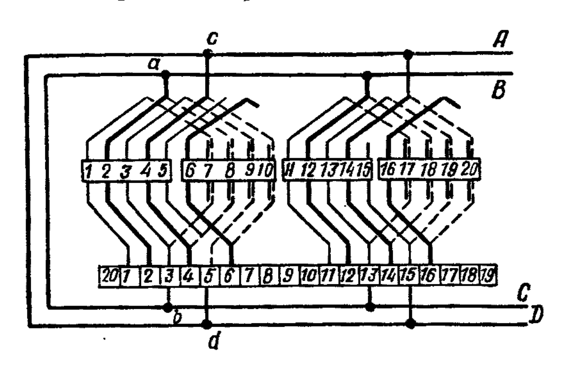


Рис. 137. Уравнительные соединения в сложно-петлевой обмотке

Упражнения. Составить таблицы уравнительных соединений для следующих обмоток:

1) простой петлевой с $z = 64$, $2p = 4$, $u_п = 3$;
2) простой петлевой с $z = 78$, $2p = 6$, $u_п = 4$;
3) сложно-волновой с $z = 58$, $2p = 8$, $u_п = 3$, $m = 2$;
4) сложно-петлевой с $z = 42$, $2p = 6$, $u_п = 3$, $m = 2$.

§ 62. СТУПЕНЧАТЫЕ ОБМОТКИ

В § 54 было сказано, что для получения равносекционных обмоток необходимо, чтобы первый шаг обмотки удовлетворял формуле (21). При расчете таблицы обмотки якоря (см. рис. 134) было установлено, что шаг y_1 соединяет секции со стороны якоря, противоположной коллектору. Чтобы все секции данной катушки изолировать общей лентой, надо иметь секции одинаковой ширины, которые кладутся в одни и те же пазы якоря. Поэтому в равносекционных обмотках шагом y_1 всегда охватывают симметрично расположенные в пазах провода, например 1 и 22 или 41 и 62 (см. рис. 134). Это требование не распространяется на шаг y_2, так как он осуществляется выводами катушек. Поэтому провода 22 и 41 или 62 и 1 расположены в пазах несимметрично.

Равносекционные, или равнокатушечные, обмотки, будучи более удобными для производства, вызывают искрение под щетками. Если в пазу расположены рядом стороны многих секций, то при изменении направления тока в проводе в момент замыкания секции накоротко щеткой на коллекторе в этой секции наводятся значительные э. д. с. взаимоиндукции соседними секциями. При этом возникает искрение на коллекторе под щетками, что ускоряет износ как щеток, так и пластин коллектора.

Для уменьшения э. д. с. взаимоиндукции в крупных машинах с многими секциями в пазу стремятся отвести секции, соседние с коммутируемой, в другой паз. Очевидно, этого можно достичь, искусственно увеличив шаг y_1.

Возьмем обмотку, схема которой показана на рис. 131, и изменим у нее шаг y_1. Возьмем $y_1 = 53$ вместо $y_1 = y_z \cdot u_п = 52$. Соответственно увеличится и шаг y_2 ($y_2 = 53—1 = 52$). На рис. 138 изображена практическая схема этой обмотки. Мы видим, что из четырех проводов, выходящих из паза1, три попали в паз 14, а четвертый отделился от них и попал в паз 15. Таким образом, при коммутации в любой секции паза 1 наводится э. д. с. взаимоиндукции не тремя другими, а только двумя соседними секциями. Поэтому искрение на коллекторе слабее.

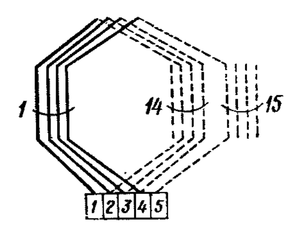


Рис. 138. Практическая схема ступенчатой обмотки

Такие обмотки называют ступенчатыми, потому что нижние провода одной катушки сдвинуты по пазам по сравнению с равнокатушечной обмоткой.

Ступенчатые обмотки имеют особую технологию изготовления. Как видно на схеме (рис. 138), только три секции катушки можно гнуть на одном шаблоне, а четвертая имеет другие размеры. Теперь уже нельзя все четыре нижних провода катушки изолировать общей лентой; их нужно изолировать отдельно. В связи с таким усложнением изготовления ступенчатых обмоток их обычно выполняют не из целых катушек, а из полукатушек. Такие обмотки называют *разрезными* (см. рис. 45, *б*).

Разрезные обмотки также имеют недостатки. Так, со стороны якоря, противоположной коллектору, нужно все провода попарно спаять между собой и места пайки заизолировать, на что уходит много времени и расходуются дополнительные материалы. Для машин с нагревостойкой изоляцией пайка мягкими припаями недопустима и приходится паять соединения проводов твердыми припоями при тесном расположении проводов, что затрудняет паяние.

В последнее время ступенчатые обмотки начали изготовлять из целых несимметричных катушек, у которых одна сторона имеет общую изоляцию всех проводов, а другая выполнена ступенчатой и ее провода вкладывают в два соседних паза. На рис. 139 показана такая катушка завода «Электротяжмаш». При

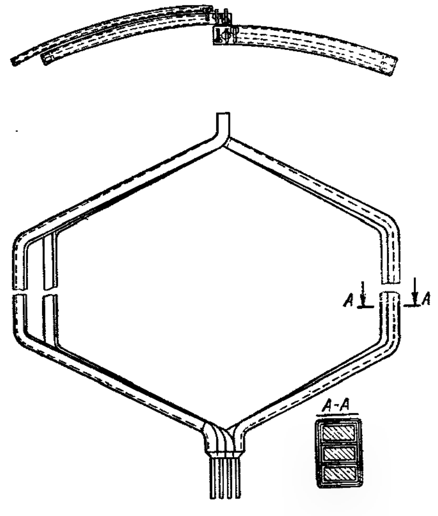


Рис. 139. Катушка ступенчатой обмотки

укладке таких катушек в пазы удалось избежать сложной операции паяния соединений между проводами со стороны якоря, противоположной коллектору.

Этой катушке присуща еще одна очень важная особенность. Известно, что в обмотках статора машин переменного тока широкую сторону проводов всегда обращают к дну паза. Это позволяет значительно снизить дополнительные потери в проводах. Наоборот, в якорях машин постоянного тока провода всегда располагают ребром к дну паза. Для снижения потерь приходится разделять провода по высоте паза на два параллельных провода (см. рис. 48), что вызывает дополнительные трудности при гибке и изолировке катушек. На рис. 139 широкая сторона проводов обращена к дну паза. Благодаря этому значительно снижаются потери в сечении проводов и упрощается гибка и изолировка катушек.

Для вкладывания в петушки коллектора выводы катушек прессуют. При этом сечение провода деформируется, уменьшаясь по ширине и увеличиваясь по высоте. Эту операцию сопровождают отжигом медных проводов, чтобы на них не появлялись трещины. Этот пример показывает, что некоторые положения в течение многих лет считавшиеся непреложными, могут быть изменены при совместной работе конструкторов, технологов и рабочих-рационализаторов электромашиностроительных заводов.

§ 63. «ЛЯГУШЕЧЬИ» ОБМОТКИ

Катушка лягушечьей обмотки (рис. 140) по форме несколько напоминает лягушку. Лягушечью обмотку можно рассматривать как параллельно соединенные две обмотки (петлевую и сложно-волновую), уложенные в пазы якоря и присоединенные к одному коллектору. Ее применяют в машинах с большим током якоря.

В лягушечьей обмотке число проводов петлевой и волновой обмоток а также числа их параллельных ветвей берут одинаковыми:

$$2a_п = 2a_в, \quad (33)$$

где $2a_п$ — число параллельных ветвей петлевой обмотки; $2a_в$ — число параллельных ветвей волновой обмотки.

Таким образом, число параллельных ветвей лягушечьей обмотки в два раза больше числа параллельных ветвей петлевой обмотки. Другое преимущество лягушечьей обмотки перед петлевой заключается в том, что она требует применения уравнительных соединений, так как провода одной из обмоток одновременно служат соединениями для другой обмотки.

Наиболее распространенным является выполнение лягушечьей обмотки, при котором катушки петлевой обмотки изготовляют целыми, а катушки волновой обмотки — разрезными (рис. 140).

При укладке в пазы лягушечья обмотка образует четыре слоя. В пазах обе обмотки располагают следующим образом: слои *1* и *4* занимают провода волновой обмотки, а слои *2* и *3* — провода петлевой об-

мотки. Таким образом, секции волновой обмотки на лобовых частях охватывают секции петлевой обмотки.

Если петлевая и волновая обмотки имеют одинаковый шаг по пазам, то обе катушки могут иметь общую изоляцию и представляют собой как бы одну катушку с четырьмя выводами. Выводы к коллектору петлевой и волновой обмоток должны быть разделены, потому что, выходя из паза, они идут в разных направлениях. Шаг лягушечьей обмотки по пазам определяют так же, как и для других обмоток, по формуле (2).

Так как обе обмотки соединяются параллельно, они должны иметь одинаковое число параллельных ветвей.

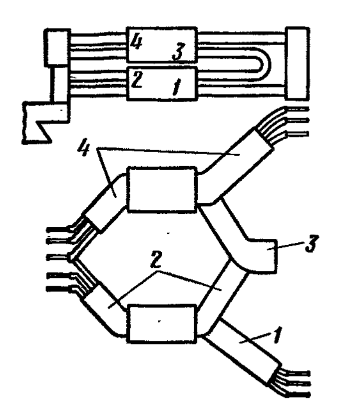


Рис. 140. Катушка лягушечьей обмотки

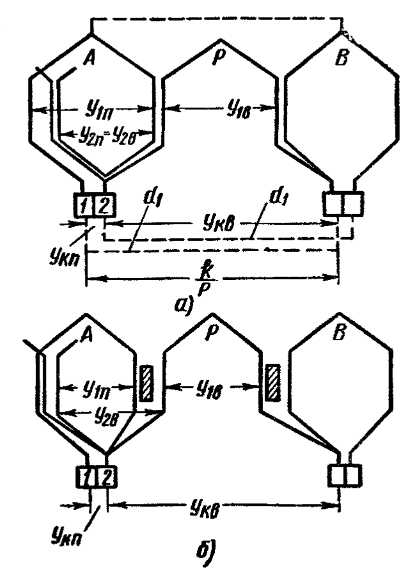


Рис. 141. Схемы построения лягушечьей обмотки:

а—б — варианты схемы

Таким образом можно установить, какую волновую обмотку нужно применить в лягушечьей обмотке.

Возьмем для примера четырехполюсную машину. Простая петлевая обмотка такой машины имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов, т. е. четыре параллельные ветви. Такое же число параллельных ветвей должна иметь и сложно-волновая обмотка. Четыре параллельные ветви имеет двукратная волновая обмотка. Следовательно, лягушечья обмотка четырехполюсной машины состоит из простой петлевой обмотки и двукратной сложно-волновой обмотки, у которой шаг по коллектору выражается формулой (30).

Так как секции петлевой и волновой обмоток присоединяют к одним и тем же коллекторным пластинам, соотношения между шагами обмоток должны быть такими, чтобы не возникали уравнительные токи. Существуют две схемы соединения петлевых и волновых секций лягушечьих обомоток.

Согласно первой схеме (рис. 141, *а*) две секции *А* и *В* исходной петлевой обмотки располагают одну от другой на расстоянии двойного полю-

сного деления. Таким образом, между любыми двумя точками секций разность потенциалов равна нулю и секции могут быть соединены уравнительными проводами d_1, которые на рисунке показаны штриховыми линиями.

Секция волновой обмотки *P* образуется соединением конца секции *A* с началом секции *B* через провода, расположенные рядом с близлежащими сторонами секций *A* и *B*. В любом замкнутом контуре, образованном секцией волновой обмотки и любым из указанных выше уравнительных проводов, сумма э д. с. равна нулю. Следовательно, введение секции волновой обмотки не нарушает равновесия э. д. с. в петлевой обмотке.

Соотношение между шагами петлевых и волновых секций в лягушечьей обмотке выражают уравнениями:

$$y_{1п} + y_{1в} = \frac{k}{p}; \tag{34}$$

$$y_{кп} + y_{кв} = \frac{k}{p}; \tag{35}$$

$$y_{2п} = y_{2в}, \tag{36}$$

где $y_{1п}$ — первый шаг петлевой обмотки; $y_{1в}$ — первый шаг волновой обмотки; $y_{2п}$ — второй шаг петлевой обмотки; $y_{2в}$ — второй шаг волновой обмотки; $y_{кп}$ — шаг по коллектору петлевой обмотки; $y_{кв}$ — шаг по коллектору волновой обмотки.

Для получения второй схемы сначала строят нормальную схему лягушечьей обмотки по рис. 141, *а*, выбирая для исходной петлевой обмотки диаметральный шаг. Затем правые стороны петлевых и волновых обмоток переносят в соседние пазы (рис. 141, *б*). В результате вместо диаметральных секций во второй схеме получают хордовые секции. Петлевые и волновые секции будут одинаковой ширины:

$$y_{1п} = y_{1в}. \tag{37}$$

Во второй схеме сумма э. д. с. петлевых и волновых секций в любом замыкающемся контуре также равна нулю. В обмотках по второй схеме необходимо иметь целое число пазов на полюс.

Рассмотрим развернутую схему лягушечьей обмотки со следующими данными (рис. 142): $2p = 4$; $z = 22$; $u_п = 4$; $k = 22$. Каждая из обмоток имеет по четыре параллельные ветви.

Шаги обмотки выбраны следующие:

для петлевой обмотки

шаг по коллектору $y_{кп} = 1$, первый шаг $y_{1п} = \frac{k-2}{2p} = \frac{22-2}{4} = 5$;

для сложно-волновой обмотки

шаг по коллектору $y_{кв} = \frac{k-2}{p} = \frac{22-2}{2} = 10$, первый шаг $y_{1в} = 6$, второй шаг $y_{2в} = 10-6 = 4$.

Таким образом, шаги по пазам петлевой и волновой обмоток здесь разные. Каждая катушка в этой схеме состоит из одной секции, и первые

шаги выражают также шаги по пазам. Следовательно, петлевая обмотка имеет шаг по пазам 5, т. е. из 1-го паза в 6-й, а волновая обмотка имеет шаг по пазам 6, т. е. из 1-го паза в 7-й.

В этом случае катушка не может иметь общей изоляции по всему контуру. Изолировать вместе можно провода, лежащие на дне паза. Провода верхней стороны этой катушки, принадлежащие петлевой и волновой обмоткам, будут лежать в разных пазах и поэтому должны быть изолированы отдельно.

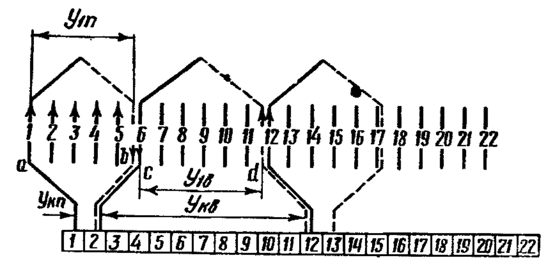


Рис. 142. Развернутая схема лягушечьей обмотки

Чтобы секции обеих обмоток находились в равных магнитных условиях и э. д. с. в них уравновешивались, лягушечья обмотка должна удовлетворять следующим условиям:

1. Первый частичный шаг петлевой обмотки и первый частичный шаг волновой обмотки должны быть связаны формулой (34).

В данной обмотке это условие выполнено, так как $6 + 5 = 22 : : 2 = 11$.

2. Шаги по коллектору для обеих обмоток должны быть связаны равенством (35).

Как видно из технических данных обмотки, это условие в ней также выполнено:

$$1 + 10 = \frac{22}{2} = 11.$$

§ 64. СИММЕТРИЯ ОБМОТОК

Якорная обмотка должна быть симметричной. Это значит, что при всех положениях якоря относительно полюсов в параллельных ветвях обмотки должны наводиться одинаковые э. д. с. и сопротивления всех параллельных ветвей обмотки должны быть одинаковыми. Для обеспечения электрической симметрии обмотка должна удовлетворять следующим условиям:

1. Так как обмотка является двухслойной, то провода каждого паза делятся на две равные части, лежащие в верхнем и нижнем слоях. Отсюда вытекает первое условие: *число секций в пазу должно быть четное*. Это условие не выполняется только для волновых обмоток с мертвыми секциями.

2. Всякая многополюсная обмотка может быть представлена состоящей из нескольких двухполюсных обмоток, причем число их равно числу пар параллельных ветвей обмотки. Поэтому *число коллекторных пластин должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей обмотки.*

3. По этим же соображениям *число пазов якоря должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей.*

4. Чтобы секциям одной пары параллельных ветвей соответствовали секции других параллельных ветвей, находящихся в таких же магнитных условиях, *необходимо, чтобы число полюсов делилось без остатка на число пар параллельных ветвей.*

Посмотрим, какие требования предъявляют с учетом этих условий к выполнению различных обмоток.

Для простой петлевой обмотки число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Поэтому четвертое условие для нее всегда выполняется. Второе и третье условия для этой обмотки могут быть выражены и иначе, если учесть, что число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Тогда для петлевой обмотки второе и третье условия можно выразить так: числа коллекторных пластин и пазов должны делиться без остатка на число пар полюсов. Если эти два условия выполнены, то обмотка будет симметрична.

В сложно-петлевых обмотках четвертое условие может быть выполнено только в том случае, если $a = 2p$, а это будет в обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток. Второе и третье условия выполняются только при четном числе коллекторных пластин. Однако на практике применяют сложно-петлевые обмотки с нечетным числом коллекторных пластин, которые хотя и несимметричны, но работают вполне удовлетворительно.

В простой волновой обмотке число пар параллельных ветвей равно единице (две параллельные ветви). Поэтому она всегда удовлетворяет второму, третьему и четвертому условиям. Несимметричны только волновые обмотки с мертвыми секциями, тем не менее их применяют на практике.

Для сложно-волновой обмотки, состоящей из двух простых обмоток, должны выполняться все четыре условия симметрии.

§ 65. РАЗМЕТКА ЯКОРЯ ПОД ОБМОТКУ

Провода катушечной обмотки якоря распределяются в пазах поровну. Поэтому достаточно правильно уложить в пазы и соединить с коллектором первую катушку, а остальные будут располагаться относительно нее симметрично. Практические схемы якорных обмоток представляют собой схемы укладки в пазы первой катушки и соединения ее с коллекторными пластинами.

Однако, для того чтобы щетки совпали с положением нейтралей, необходимо соблюдать условия геометрической симметрии обмотки. Это особенно важно для машин реверсивных или не имеющих поворотной траверсы щеткодержателей. Процесс разметки якоря под укладку обмотки заключается в перенесении схемы разметки на якорь. Разметку ведут от оси симметрии. Существует два способа разметки. При первом способе за ось симметрии принимают среднюю линию катушки, при втором — разметку ведут от первого паза.

На рис. 143 показаны схемы разметки якоря по первому способу. Ось симметрии может проходить на якоре через паз или зубец, а на

коллекторе — через пластину или миканитовую прокладку в зависимости от четности или нечетности шагов по пазам или коллектору. На рисунке приведены все четыре возможных варианта положения оси симметрии.

Чтобы найти ось симметрии на якоре, натянутую вдоль якоря нить прикладывают в зависимости от схемы к середине паза или к середине зубца. Поворачивая якорь, находят ту пластину или миканитовую прокладку, которая ближе всего совпадает с осью симметрии. Для фик-

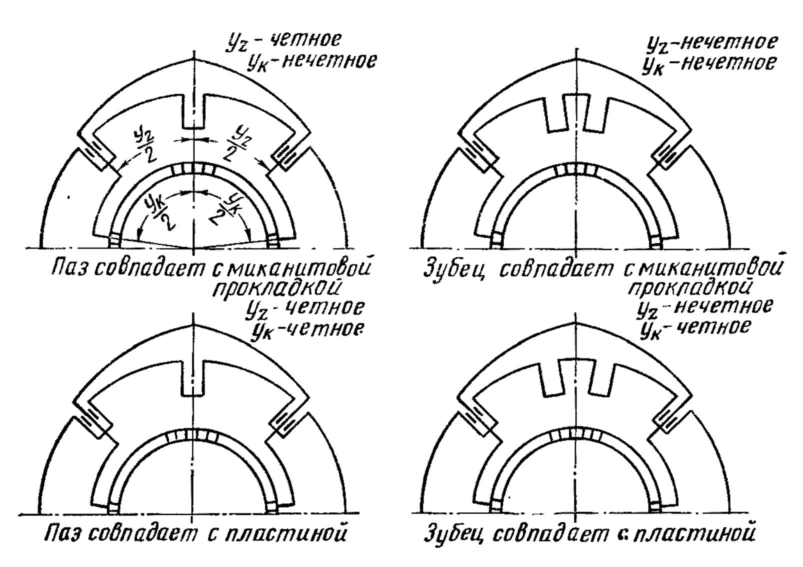


Рис. 143. Схемы разметки якоря с волновой обмоткой от середины секции

сирования оси симметрии при штамповке листов шпоночную канавку располагают по линии паза или зубца в зависимости от схемы. Шпоночную канавку во втулке коллектора долбят, окончив его сборку, посередине коллекторной пластины или миканитовой прокладки.

В качестве примера разметки якоря возьмем практическую схему, показанную на рис. 133. Это волновая обмотка с шагом по пазам 1—9. Ось симметрии первой катушки в данной схеме проходит через середину паза 5. При шаге по коллектору 1—47 ось симметрии проходит через середину 24-й коллекторной пластины.

Хотя число коллекторных пластин кратно числу пазов, между пазами и пластинами возможны сдвиги в ту или иную сторону, так как медные пластины и миканитовые прокладки имеют допуски на толщину. При разметке якоря находят такой паз, который точнее других совпадает с коллекторной пластиной. Этому пазу присваивают номер 5, а пластине — 24. Отсчитывая от оси симметрии вправо и влево половину шага по пазам, находят пазы 1 и 9, а на коллекторе — пластины 1 и 47.

Чтобы катушка располагалась симметрично относительно оси, надо с пластинами 1 и 47 соединить средние провода катушки. Тогда первый вывод верхней стороны катушки будет соединен с последней пластиной коллектора, имеющей номер 93, а второй вывод этой же секции — с пластиной 46. Третья секция катушки будет соединена с пластинами 2 и 48.

Если бы в катушке было четыре секции, то с пластиной 1 надо было бы соединить вывод второй секции, лежащей слева от середины паза 1. При шаге по пазам 1—10 ось симметрии на якоре проходила бы через середину зубца, который расположен между 5 и 6-м пазами. При шаге по коллектору 1—48 ось симметрии на коллекторе проходила бы через миканитовую прокладку между пластинами 24 и 25.

Для разметки якоря пользуются специальным шаблоном, представляющим собой скобу, опирающуюся на шейки вала. Над коллектором и якорем на шаблоне укреплены передвижные стрелки, которые устанавливают по пазу или зубцу на якоре и по пластине или миканитовой прокладке на коллекторе. Особенно точно надо находить ось симметрии на якорях машин, у которых нельзя сдвигать щетки по окружности коллектора. Для нанесения разметки на якоре делают крестообразные зарубки на зубцах, между которыми лежат пазы с первой

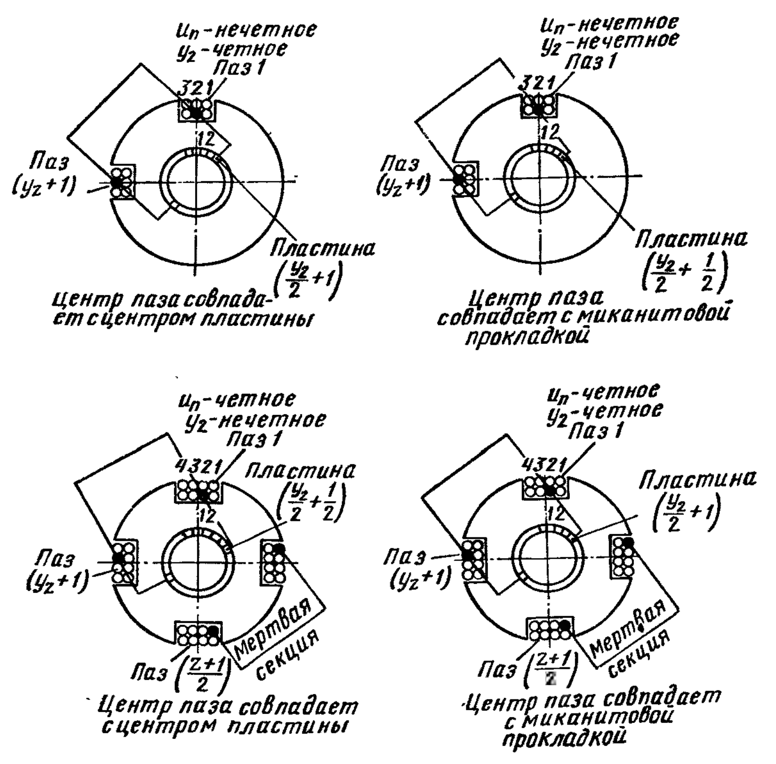


Рис. 144. Схемы разметки якоря с волновой обмоткой от первого паза

катушкой (на рис. 146 это пазы 1 и 9). На торцах коллекторных пластин 93, 1, 2, 46, 47 и 48 кернером намечают точки.

Эта система разметки имеет некоторые недостатки. Расположение шпоночной канавки в листах якоря зависит от того, четный или нечетный шаг по пазам. Это исключает возможность применения данной системы разметки для различных обмоток, у которых используются одни и те же листы якоря. Кроме того, не обеспечивается выполнение условий симметрии обмотки при четном числе секций в катушке. Эти недостатки несвойственны второму способу разметки. Разметку ведут не от оси симметрии, а от первого паза, в который вкладывают нижнюю сторону первой катушки. Таким образом, независимо от шага по пазам шпоночная канавка в листах якоря всегда располагается по середине паза. Этот способ применим для волновых и петлевых обмоток с четными и нечетными числами секций в катушке.

На рис. 144 изображены схемы разметки от первого паза якоря для левых волновых обмоток четырехполюсной машины с четным и нечетным числом секций в катушке. Совпадение паза с коллекторной пластиной или миканитовой прокладкой зависит от четности или нечетности числа секций в катушке и шага y_2 обмотки.

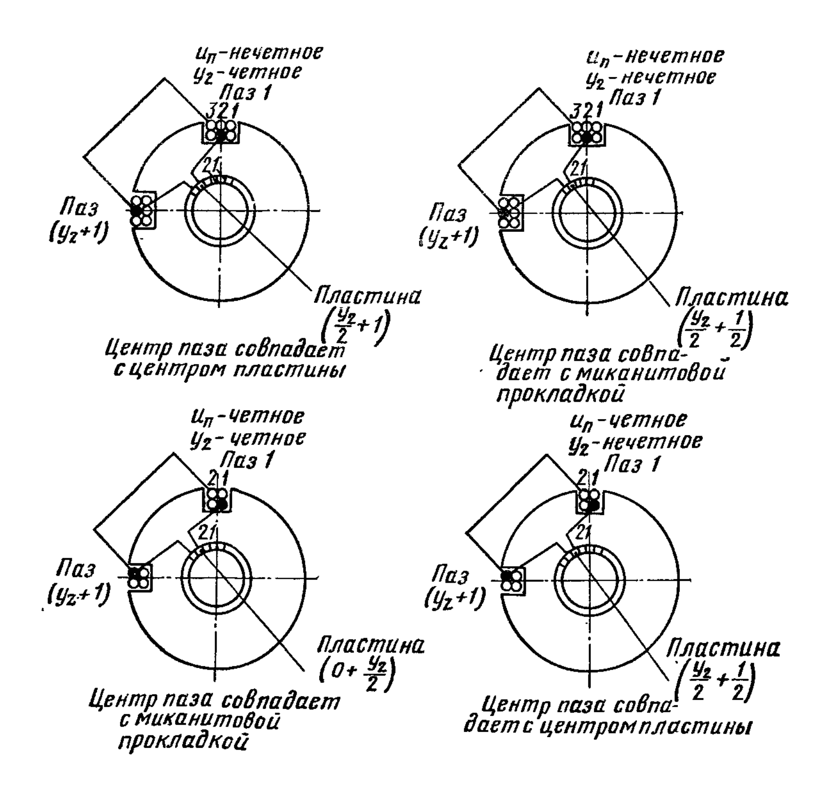


Рис. 145. Схемы разметки якоря с петлевой обмоткой

Для волновой обмотки

$$y_2 = y_к - y_1,$$

где y_1 — первый шаг, равный $y_z u_п$; y_2 — второй шаг; $y_к$ — шаг по коллектору; y_z — шаг по пазам; $u_п$ — число секций в катушке.

Как видно на схемах, нумерация пазов ведется против часовой стрелки, а коллекторных пластин — по часовой стрелке. На этих схемах нумеруют не все провода паза, а только стороны секций. Поэтому при многовитковых катушках провода паза, замыкающиеся в секции, не нумеруют. Для обмоток с мертвыми секциями щетки должны быть сдвинуты с геометрической нейтрали на $^1/_8$ коллекторного деления против часовой стрелки (если смотреть со стороны коллектора).

На рис. 145 показаны схемы разметки якоря для правых петлевых обмоток четырехполюсных машин, построенные по тому же способу. Пазы и коллекторные пластины в этих схемах нумеруют против часовой стрелки. Для петлевой обмотки $y_2 = y_1 - y_к$.

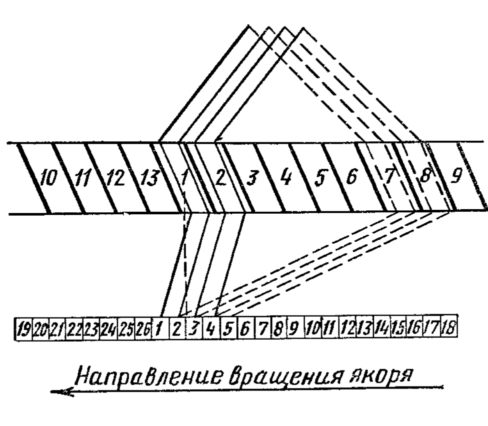


Рис. 146. Схема разметки якоря коллекторного микродвигателя

Все схемы разметки построены для нормальных обмоток, у которых выводы по выходе из паза выгибаются на половину полюсного деления, а в машинах с добавочными полюсами щетки на коллекторе установлены точно по линии главных полюсов.

В практике встречаются электрические машины, у которых лобовые части обмотки расположены несимметрично. К ним относятся почти все типы коллекторных микродвигателей как постоянного, так и переменного тока. У этих двигателей статор представляет собой круг со срезанными сегментами. Для более компактной формы щеткодержатели располагают между полюсами. Чтобы они находились в нейтралях, нижний слой выводов обмотки по выходе из пазов идет прямо в коллекторные пластины, а верхний слой сдвинут на полюсное деление.

На рис. 146 изображена схема разметки якоря двухполюсного коллекторного микродвигателя с 13 пазами и 26 коллекторными пластинами. Шаг обмотки по коллектору $y_к = 1$, как в простой петлевой обмотке. У микродвигателей пазы якоря обычно бывают скошены, поэтому для разметки проводят пунктирную линию от середины первого паза к миканитовой прокладке между второй и третьей коллекторными пластинами. В двигателях с поворотной траверсой сдвигают щетки с нейтрали в сторону, обратную вращению, вследствие реакции якоря.

У микродвигателей нет поворотной траверсы и поэтому концы обмотки сдвинуты на коллекторе относительно оси первого паза на одно коллекторное деление по направлению вращения якоря, которое на рисунке обозначено стрелкой.

§ 66. УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРОВ

В процессе укладки обмотки в пазы выводы секций соединяют с коллекторными пластинами. На рис. 147 показано устройство коллектора машины постоянного тока.

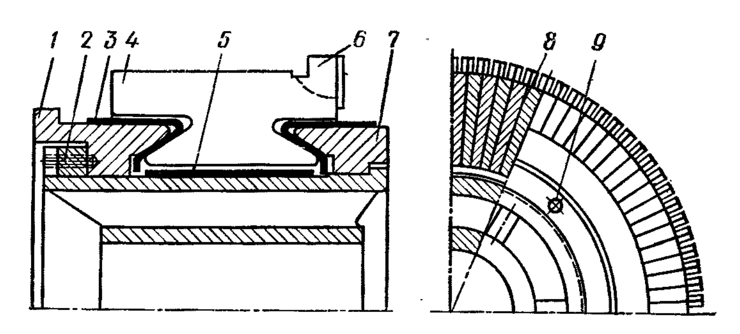


Рис. 147. Коллектор машины постоянного тока

Принцип устройства основан на том, что посредством усилий, создаваемых конусами 1 и 7 стянутыми гайкой *2*, пластины *4* коллектора прижимаются к центру. Эти усилия передаются на коническую поверхность «ласточкиных хвостов» пластин через миканитовые манжеты *3*. Верхняя коническая поверхность разгружена от этих усилий, так как между пластинами и манжетой предусматривается зазор около 0,5 *мм*. Между медными пластинами вложены миканитовые прокладки *8*. От корпуса пластины изолированы миканитовым цилиндром *5*. Гайка *2* предохраняется от самоотвертывания винтом *9*. Выступающая часть *6* коллекторной пластины называется петушком. В ней профрезерована прорезь для вкладывания проводов обмотки якоря.

При обработке наружной поверхности коллектора много меди идет в стружку. Поэтому в крупных машинах применяют петушки из тонкой полосовой меди, впаянные в прорези коллекторных пластин. В процессе развития электромашиностроения технология соединения ленточных петушков с пластинами коллектора претерпела большие изменения. Сначала для петушков фрезеровали в серединах пластин глубокие прорези, в которые вставляли петушки. В пластинах и петушках совместно просверливали отверстия, склепывали их между собой медными заклепками и соединения пропаивали (рис. 148, *а*), Недостаток этого соединения заключался в том, что могли образоваться щели между стенками прорезей и петушками, а затекание в них припоя оставалось бесконтрольным и на пайку расходовалось много припоя.

Для повышения надежности контакта фрезеровали боковую сторону пластины и приклепывали или приваривали петушок сбоку (рис. 148, *б*), но добиться хорошего контакта между пластиной и тонким петушком не всегда удавалось. Щели между петушками и миканитовыми прокладками являлись местом скопления грязи и служили причиной пробоя между пластинами коллектора.

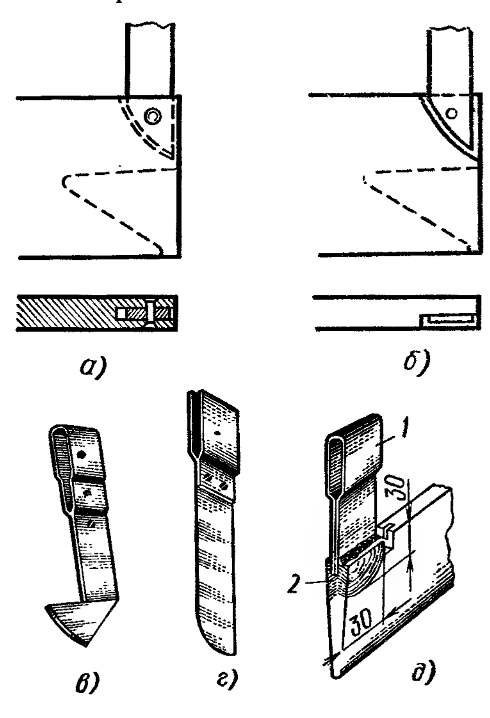


Рис. 148. Формы петушков коллектора:
а — с прорезью в середине пластины, *б* — с прорезью сбоку пластины, *в* — согнутый петушок, *г* — открытый петушок, *д* — с пайкой медно-фосфористым припоем

В машинах с ленточными петушками, у которых щеточные болты обоими концами вставляются в бракет траверсы щеткодержателей, приходится увеличивать длину коллекторной пластины, чтобы отдалить петушки от бракета. В целях экономии меди ленточные петушки впаивают в пластину не сверху, а с торца и на некотором удалении от торца коллектора перегибают на 90°.

На рис. 148, *в* показаны ленточные петушки, согнутые из непрерывной полосы с закрытыми хомутиками для проводов обмотки. Однако при небольшой высоте петушка вставлять концы проводов большого сечения в такие хомутики трудно. Поэтому в таких случаях применяют открытые петушки (рис. 148, *г*), сложенные из двух полосок. Концы их огибают вокруг проводов и запаивают.

Коренное улучшение этого соединения дало применение меднофосфористого припоя МФ-3, имеющего высокую температуру плавления (свыше 700° С), обладающего хорошей текучестью и обеспечивающего высокую прочность соединения. В пластине *2* фрезеруют мелкий паз глубиной 2—3 *мм* (рис. 148, *д*). Между петушком *1* и рабочей поверхностью коллектора проточена канавка, которая препятствует передаче тепла, выделяемого при пайке, на рабочую поверхность коллектора. Место пайки нагревают током, прикладывая два угольных электрода от понижающего трансформатора к боковым сторонам пластины. Палочку припоя подводят к стыку между пластиной и петушком, и он, расплавляясь, заполняет щель между ними. Для уменьшения нагревания пластины ее в процессе пайки погружают в воду. Зона нагрева ограничена размерами 30×30 *мм*.

§ 67. РУЧНЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Ручные обмотки применяют в машинах с полузакрытыми пазами с диаметром якоря до 100 *мм*. Для них не заготовляют катушек, а наматывают провод непосредственно в пазы якоря. Это дает возможность значительно уменьшить длину витка, а следовательно, вылет лобовых частей обмотки. Лобовые части ручных обмоток прилегают к торцу якоря и огибают вал. Для предохранения от замыкания обмо ки с сердечником с каждой стороны якоря ставят изоляционные листы *1* (рис. 149) толщиной 1—2 *мм*, которые штампуют из электрокартона, фибры или текстолита, а вал изолируют лентой или трубочками *2*. От стенок паза обмотки изолируют пазовыми гильзами, которые на 1—2 *мм* длиннее сердечника якоря.

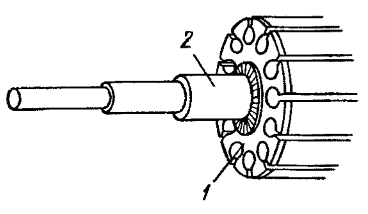


Рис. 149. Изоляция якоря при ручной обмотке

Ручные обмотки требуют применения проводов с повышенной прочностью изоляции. Современные провода с высокопрочной эмалевой изоляцией применяют для обмоток с диаметром провода до 0,6—0,8 *мм*. При больших диаметрах используют провода с двойной волокнистой или комбинированной изоляцией.

При мелкосерийном производстве якоря обматывают вручную, откуда обмотки и получили свое название. Якорь кладут концами вала на деревянную стойку или держат его в левой руке, а правой вкладывают провод в пазы. Катушка с проводом установлена на вращающейся стойке. По мере заполнения пазов проводами обмотку в пазу осаживают фибровым клином. Намотку следует вести, натягивая провод и избегая перекрещивания проводов в пазах. При недостаточном натяжении провода лобовые части обмотки не уложатся на торцах якоря. Во время намотки необходимо следить за целостью изоляции провода во избежание витковых замыканий, а также за тем, чтобы изоляционные гильзы не сдвигались вдоль якоря, так как это поведет к замыканию обмотки на корпус. Обычно ручные обмотки наматывают до насадки на вал коллектора.

Схемы ручных обмоток якоря имеют некоторые особенности по сравнению с схемами катушечных обмоток. В ручных обмотках первые катушки кладут обеими сторонами на дно паза. Обматывают якорь, оставляя выводные петли для присоединения к коллектору, которые выпускают из каждого паза по числу секций.

Рассмотрим следующие примеры схем ручных обмоток.

На рис. 150 дана схема ручной обмотки якоря машины постоянного тока со следующими данными: число пазов $z = 10$, число секций в пазу $u_п = 3$, число витков в секции $u_с = 37$, шаг по пазам $y_z = 4$, шаг по коллектору $y_к = 1$, число коллекторных пластин $k = 30$, число проводов в пазу $N = 222$.

После изолировки пазов приступают к обмотке якоря. Начало провода обматывают вокруг вала, чтобы провод не сдвинулся при на-

мотке. Намотку ведут одним проводом в следующем порядке. Сначала наматывают 37 витков первой секции из паза 1 в паз 5. Затем из паза 1 выпускают первую петлю длиной около 40 мм и в те же пазы наматывают вторую секцию. После намотки второй секции снова выпускают петлю, которую делают длиннее первой на 10—15 мм для того, чтобы их можно было различить при соединении обмотки с коллектором. Затем наматывают третью секцию и выпускают петлю длиннее второй на 10—15 мм. Переводят провод, не отрезая его от бухты, в паз 2. Теперь намотка будет производиться из паза 2 в паз 6. Наматывают также три секции по 37 витков и после намотки каждой секции выпускают петли разной длины.

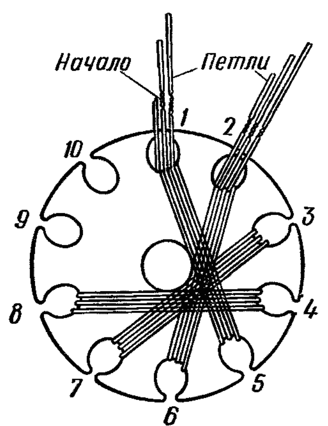


Рис. 150. Схема ручной обмотки якоря

Аналогично обматывают пазы 3—7 и 4—8. При этом все пазы будут заполнены наполовину, так как пока укладывают нижний слой. Следующие секции должны наматываться из паза 5 в паз 9, но половина паза 5 уже занята секциями первой катушки.Следовательно, когда будет закончена намотка секций из паза 5 в паз 9, паз 5 будет заполнен целиком.

Затем намотку производят из паза 6 в паз 10 и из паза 7 в паз 1. При этом целиком заполняют пазы 6, 7 и 1. Провода обмотки будут лежать в верхнем слое. Последними будут заполнены пазы 10 и 4. Из последней секции паза 10 выйдет конец обмотки, который следует соединить с началом обмотки, выходящим из паза 1. Таким образом, вся обмотка якоря намотана одним непрерывным проводом. Из каждого паза выходят по три петли разной длины. Петля является концом одной секции и началом следующей. Каждую петлю надо присоединить к коллекторной пластине, зачистив изоляцию провода и отрезав лишнюю длину петли. Чтобы секции в обмотке не перекрещивались, надо при соединении петель с коллекторными пластинами брать их в определенном порядке: короткая, средняя, длинная из паза 1, затем короткая, средняя, длинная из паза 2 и т. д.

В этой схеме обмотки есть один недостаток, заключающийся в том, что на торце якоря лобовые части будут укладываться несимметрично. Лобовые части первых катушек будут плотно прилегать к торцу якоря, а лобовые части последних катушек в верхнем слое обмотки будут выпучиваться. В малых быстроходных машинах это создает несбалансированность якоря и при вращении он будет вибрировать. Сбалансировать якорь дополнительными грузами трудно, так как на маленьком якоре бывает мало места для балансировочных грузов. Чтобы избежать этого, применяют специальные схемы намотки, при которых лобовые части располагаются более симметрично.

К таким схемам относятся схемы обмотки якоря «в елочку» двухходовой.

На рис. 151 показана схема обмотки якоря «в елочку» со следующими данными: $z = 10$, $u_п = 1$, $w_с = 10$, $y_z = 4$, $y_к = 1$, $k = 10$, $N = 20$.

Обмотку якоря начинают с паза 1. В этой обмотке каждая катушка состоит из одной секции. Однако первую секцию не наматывают целиком из паза 1 в паз 5, а разбивают на две части и наматывают равными шагами: пять витков из паза 1 в паз 5 и пять витков из паза 1 в паз 7. Таким образом, после намотки первой секции паз 1 заполнен наполовину, а пазы 5 и 7 — на одну четверть. Затем переходят в паз 2 и из него наматывают пять витков в паз 6 и пять витков в паз 8. Таким же образом намотку продолжают дальше.

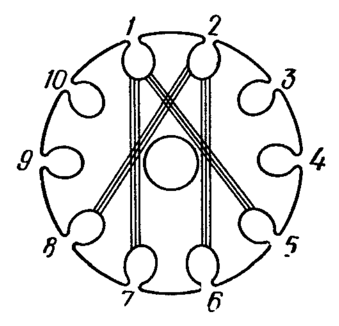


Рис. 151. Схема ручной обмотки якоря «в елочку»

Обмотку в елочку уже нельзя производить одним непрерывным проводом, так как катушки наматывают не подряд. Поэтому в процессе намотки их отрезают от бухты, а на выводы надевают бумажные ярлычки с обозначениями 1н, 1к, 2н, 2к и т. д., где цифры обозначают номера секций, буква н — начало, к — конец секции.

По окончании обмотки якоря надо произвести соединение концов, причем надо соединять выводы не подряд, а в порядке номеров, т. е.

вывод	1к	соединяют	с	выводом	2н	и	присоединяют	к	пластинке	1
»	2к	»	»	»	3н	»	»	»	»	2
»	3к	»	»	»	4н	»	»	»	»	3
»	4к	»	»	»	5н	»	»	»	»	4
»	5к	»	»	»	6н	»	»	»	»	5
»	6к	»	»	»	7н	»	»	»	»	6
»	7к	»	»	»	8н	»	»	»	»	7
»	8к	»	»	»	9н	»	»	»	»	8
»	9к	»	»	»	10н	»	»	»	»	9
»	10к	»	»	»	1н	»	»	»	»	10

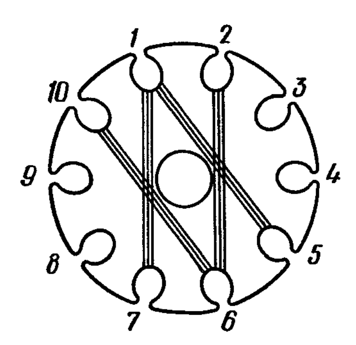
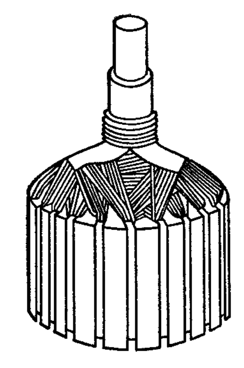


Рис. 152. Схема двухходовой ручной обмотки якоря


Рис. 153. Обмотанный якорь при ручной обмотке

На рис. 152 показана двуххордовая ручная обмотка якоря с теми же техническими данными, что и предыдущая. Эта обмотка получила такое название потому, что намотка производится по двум хордам, симметрично расположенным по отношению к валу. Намотка производится в такой последовательности. Сначала наматывают пять витков из паза 1 в паз 5, затем переводят намотку из паза 10 в паз 6. Следующие две хорды наматывают из паза 1 в паз 7 и из паза 2 в паз 6. Затем обе хорды продолжают сдвигать по часовой стрелке, захватывая каждый раз по две пары пазов. Секции двуххodовой обмотки соединяют по тем же данным, что и обмотки в елочку.

По окончании обмотки якоря на вал насаживают коллектор и соединяют выводы с пластинами коллектора. Для этого необходимо зачистить изоляцию выводов, вложить их в прорези пластин и запаять.

На рис. 153 показан обмотанный якорь при ручной обмотке.

§ 68. СТАНКИ ДЛЯ ИЗОЛИРОВКИ И ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ

Коллекторные двигатели малой мощности выпускаются в массовых количествах, поэтому для изолировки пазов и обмотки якорей разработано много типов полуавтоматических станков. Таким образом ручные обмотки механизированы в большей степени, чем катушечные обмотки машин средней мощности. Поэтому название обмоток скорее определяет порядок укладки проводов в пазы, чем технологию выполнения.

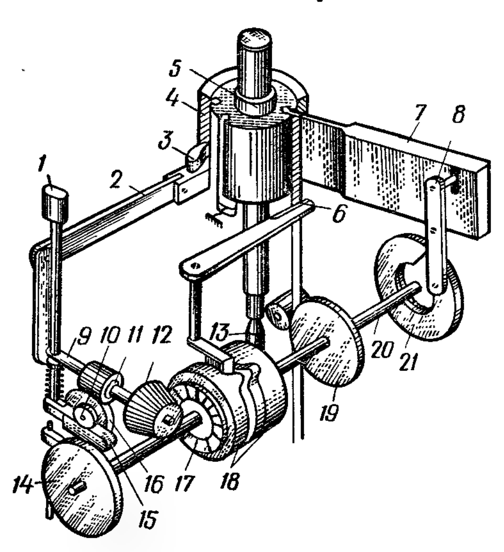


Рис. 154. Кинематическая схема станка для изолировки пазов якорей

На рис. 154 показана кинематическая схема станка для изолировки пазов якорей диаметром 70—80 мм. На распределительном валике *20* установлены кулачки *18* и *21*, диски *19* и коническая шестерня *17*. Диски *19* подают ленту электрокартона с рулона при помощи выступающих зубчатых секторов. Длину подачи ленты можно изменять, сдвигая диски один по отношению к другому. Ленту отрезает нож *6*, который приводится в движение при помощи кулачка *18*. Отрезанный конец ленты толкателем *7* вводится в паз якоря. Толкатель приводится в действие рычагом *8* при помощи кулачка *21*. Изолируемый якорь *5* вставляют в обойму *4* и он опирается на нижний центр *13*. Поворот якоря на одно зубцовое деление осуществляется собачкой *3*, установ-

ленной на ползуне *2*, который получает возвратно-поступательное движение от кривошипа, насаженного на валик *9*. Валик приводится во вращение через конические шестерни *12* и *17* от валика *20*.

После изолировки всех пазов станок останавливают концевым выключателем *14* при помощи червячной передачи *11* и *16*, кулачка *10* и рычага *15*. Станок пускают нажатием кнопки *1*. Полный цикл работы станка состоит из подачи ленты, отрезки ее мерного куска и укладки в пазы.

Станок весит всего 35 кг, удобен и надежен в работе. Применение станка увеличивает производительность труда по изолировке пазов в 3 раза по сравнению с ручной изолировкой.

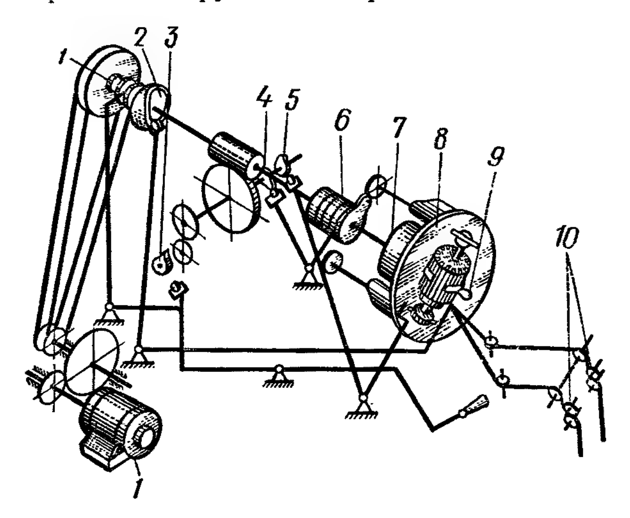


Рис. 155. Кинематическая схема обмоточного станка для якорей

Для намотки провода в пазы якоря применяют полуавтоматические станки различных типов. Выбор типа станка определяется размерами якоря, диаметром обмоточного провода, шагом и схемой обмотки. Наибольшей производительностью, особенно при большом числе проводов в пазу, обладают обмоточные станки, у которых якорь установлен в центрах планшайбы и при намотке вращается относительно оси, перпендикулярной оси вала. Провод направляется в пазы специальными крыльями.

На рис. 155 показана кинематическая схема такого станка со скоростью вращения планшайбы 350 об/мин. Станок состоит из механизмов натяжения провода, укладки его в пазы, отрезки провода после намотки одной катушки, поворота якоря на одно зубцовое деление. Привод станка осуществляется от электродвигателя *11* через редуктор и фрикционную муфту на вал *1*.

Вал *1* приводит в движение:

механизм укладки провода через дисковый копир *2*, который соединен тягами с направляющими крыльями *9*;

распределительный вал, на котором закреплены кулачок *5*, отрезки провода, кулачок *4*, фиксирующий поворотный кулачок *6* и кулачок *3*, автоматически останавливающий станок после обмотки якоря;

механизм *7* поворота якоря, закрепленный на планшайбе *8* и включаемый через кулачок *6*.

Станок снабжен натяжным механизмом *10*.

§ 69. УКЛАДКА ОБМОТОК В ПАЗЫ

Перед укладкой обмотки обдувают сердечник сжатым воздухом из шланга для удаления из пазов опилок и пыли. Поверхность пазов тщательно осматривают, освещая их лампой местного освещения. При этом удаляют все заусенцы, выправляют погнутые зубцы и распорки между пакетами. Сердечник и поверхности обмоткодержателей окрашивают черным асфальтовым лаком при помощи пульверизатора или кисти и просушивают. Контрольной лампой проверяют смежные коллекторные пластины на отсутствие замыканий. По практической схеме обмотки размечают якорь для укладки первой катушки.

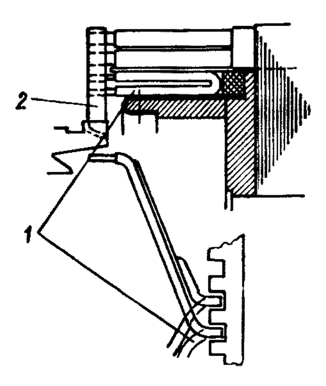


Рис. 156. Укладка уравнительных соединений

Затем приступают к изолировке пазов и нажимных шайб якоря согласно чертежу обмотки. Толщина изоляции обмоткодержателей должна быть выдержана так, чтобы выступающие концы пазовых гильз опирались на изоляцию во избежание разрывов гильз при забивании катушек в пазы. Полосы изоляционных материалов, которыми изолируют обмоткодержатели, туго затягивают киперной лентой.

Уравнительные соединения *1* (рис. 156) устанавливают до укладки катушек в пазы, и концы их вставляют в хомутики петушков *2*. Секции уравнительных соединений скрепляют бандажами согласно чертежу. В крупных машинах роль уравнительных соединений играют ленточные петушки коллекторных пластин. При этом они располагаются не радиально, а наклонно (рис. 157). Два хомутика *1* и *4* разрезной обмотки, имеющие одинаковый потенциал, соединяют двумя петушками. При этом петушки должны быть расположены в два ряда (передний *3* и задний *2*). Очевидно, что такая обмотка может быть выполнена только с полным числом уравнительных соединений.

Катушки обмотки могут быть левыми и правыми. Если смотреть со стороны коллектора, то у правых катушек правая сторона лежит на дне паза, а у левых катушек — левая. Обычно на каждом заводе все обмотки выполняют только с одним типом катушек, чтобы избежать необходимости применения разных способов укладки катушек в пазы. Ввиду того что обмотчику удобнее работать, когда коллектор располо-

жен с левой стороны, наибольшее распространение имеют правые катушки.

Процесс вкладывания катушек в пазы начинается с нижней стороны первой катушки, которую обмотчик осаживает на дно паза ударами молотка через фибровую прокладку. Вслед за этим вкладывают нижние стороны следующих катушек, а верхние остаются поднятыми до тех пор, пока не будут вложены стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. После этого вместе с нижними сторонами катушек вкладывают верхние стороны.

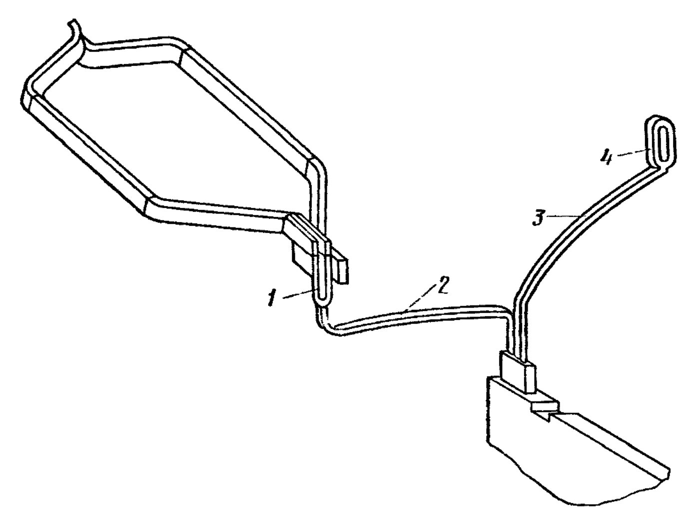


Рис. 157. Уравнительные соединения в петушках

Одновременно с укладкой катушек в пазы их выводы соединяют с пластинами коллектора. Соединение первой катушки должно быть выполнено в полном соответствии с практической схемой обмотки, зафиксированной иа якоре и коллекторе при разметке якоря под обмотку. При укладке следующих катушек из круглого провода во избежание нарушения правильной последовательности укладки секций катушки проверяют контрольной лампой. Это особенно необходимо при всыпных обмотках, у которых выводы выходят из пазов не правильными рядами, а пучком. В жестких катушках исключается возможность перепутывания концов секций.

Стороны катушки должны плотно входить в пазы, чтобы при работе машины катушки не перемещались в пазах, иначе изоляция их быстро сотрется. Однако, чтобы не слишком сильно ударять по катушкам при осаживании их в пазы, предусматривают допуски на укладку, т. е. толщину катушки делают несколько меньше ширины паза. Величина допуска зависит от конструкции катушек. Для мягкой катушки он составляет 5—8% от ее толщины. Для одновитковых катушек из прямоугольного провода, подвергающихся при изготовлении прессовке, допуск берут от 0,1 до 0,2 мм в зависимости от числа секций в катуш-

ке. Если катушки входят в паз слишком свободно, то увеличивают толщину пазовых гильз.

Пазовые части катушек, лежащие в пазах, распределяются симметрично по окружности якоря. Равномерное распределение по окружности лобовых частей катушек в большой степени зависит от обмотчика. При укладке лобовых частей он прижимает их друг к другу вплотную, чтобы можно было свободно вложить между ними лобовые части последних катушек. Таким образом, лобовые части последних катушек лежат свободнее, чем первых. Если их так оставить, то центр тяжести якоря будет сильно сдвинут с геометрической оси и при балансировке придется к легкой стороне якоря прикреплять большие балансировочные грузы во избежание вибрации машины при работе. Для таких грузов может вообще не хватить места на торце якоря. Поэтому после укладки всех катушек обмотчик разгоняет лобовые части при помощи деревянного клина.

В машинах малой мощности с коллекторами в пластмассовых корпусах и ручными обмотками на торцах якоря нет места для крепления балансировочных грузов. Такие машины балансируют, забивая в отдельные пазы кусочки металлических клиньев вместо деревянных. Не рекомендуется производить балансировку путем напаивания припоя на проволочные бандажи лобовых частей. При больших грузах это влечет за собой растягивание бандажей при вращении якоря и нарушение балансировки. Поэтому в конструкциях быстроходных микромашин часто предусматривают специальные диски, насаженные на вал вблизи подшипников. Такие якоря балансируют, высверливая отверстия в ободе балансировочного диска. Если балансировочные грузы крепят на легкой стороне якоря, то отверстия высверливают на диаметрально противоположной его стороне.

§ 70. ПАЯНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ

Небольшие коллекторы, в которых провода обмотки припаивают непосредственно к пластинам коллектора, можно нагревать паяльником. При бóльших размерах коллекторов вследствие большой теплоемкости пластин их трудно нагреть паяльником до температуры плавления припоя. Поэтому коллекторы большого диаметра перед паянием прогревали паяльной лампой. Якорь ставили в наклонное положение коллектором вниз, чтобы при паянии припой не мог стекать в обмотку. Пламя паяльной лампы направляли на цилиндрическую поверхность коллектора и, поворачивая якорь, прогревали пластины до температуры плавления припоя.

При таком способе паяния были неизбежны местные перегревы коллектора выше допустимой температуры, что влекло за собой снижение твердости коллекторной меди и разрушение коллекторного миканита прокладок между пластинами. Поэтому были разработаны специальные ванны для паяния коллекторов, у которых петушки выполнены зацело с пластинами.

На рис. 158 показано устройство ванны для паяния выводов обмотки якоря с коллектором крановых двигателей диаметром 260—

420 мм. Основой ванны служит металлический сварной корпус *6*, выполненный из листовой стали. Верхняя часть корпуса заполнена оловянно-свинцовым припоем *1*. Припой расплавляется спиралями *8*, уложенными в ящики *7*, которые выполнены в виде отдельных секций и легко вкладываются и вынимаются. Это сделано для облегчения их ремонта.

Уровень припоя регулируется поплавком *4*, представляющим собой чугунное кольцо, которое прикреплено планками *5* к двум штангам *9*, выходящим из червячных редукторов *10*. Они соединены через фрикционную передачу *12* с общим валом *14*, приводимым во вращение электродвигателем *11*. В зависимости от направления вращения электродвигателя штанги поднимают или опускают поплавок. Управление электродвигателем осуществляется двумя кнопками с надписями «Вверх» и «Вниз», расположенными на корпусе ванны. Температура припоя контролируется и поддерживается на уровне, необходимом для паяния, автоматической аппаратурой, смонтированной на отдельном щите. При помощи этой аппаратуры производится включение и отключение нагревательных спиралей, питаемых от сети 220 В, которые разделены на две группы мощностью по 14,5 кВт. С наружной стороны корпус ванны обмурован теплоизоляцией.

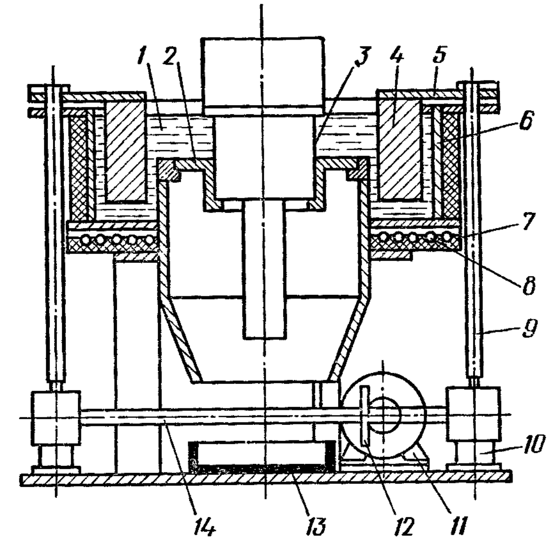


Рис. 158. Ванна для паяния обмотки якоря с коллектором

Процесс паяния происходит следующим образом. В корпус ванны вставляют сменную чашку *2*, диаметр которой соответствует диаметру коллектора, и на нее краном опускают якорь. Место стыка чашки с корпусом и коллектором проконопачивают асбестом *3*. На дне ванны установлена чашка *13* на случай протекания припоя через неплотности стыков. Поплавок опускают, поднимают уровень припоя и он вступает в соприкосновение с петушками коллектора, которые быстро нагреваются до температуры паяния. По окончании паяния уровень припоя опускают и снимают якорь. За время замены якоря температура припоя, понизившаяся на 20—30°C, снова поднимается.

Паяние в ванне имеет следующие преимущества перед паянием при помощи лампы:

рабочее время сокращается в несколько раз;

достигается значительная экономия припоя, который не разбрызгивается;

коллектор предохраняется от чрезмерного нагрева, так как он нагревается лишь до температуры плавления припоя; коллектор нагревается равномерно в течение непродолжительного времени.

Применение изоляционных материалов с высокой нагревостойкостью потребовало повышения температуры нагрева якоря, при которой может произойти размягчение припоя в местах паяния выводов

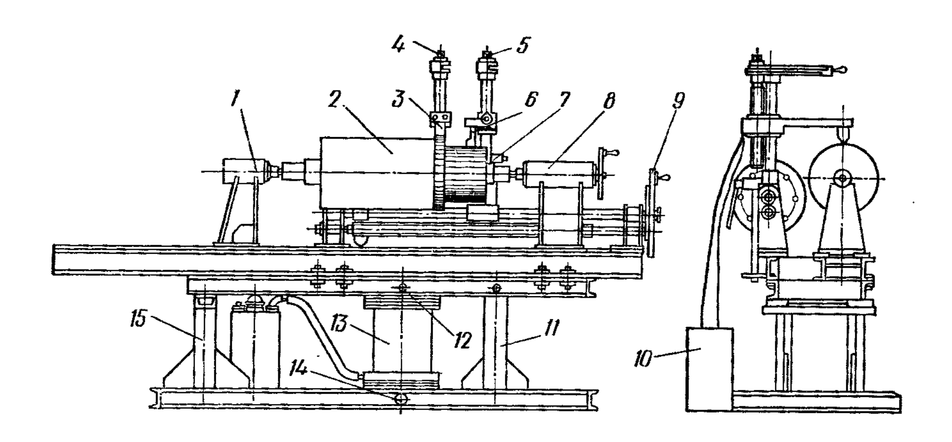


Рис. 159. Установка для паяния коллекторов твердыми припоями

обмотки с коллектором. Для таких машин приходится заменять мягкие припои твердыми. Нагрев мест паяния производится электроконтактным методом на специальной установке (рис. 159).

На сварной раме расположены подвижная бабка *1* и неподвижная *8*, между которыми устанавливают якорь *2*. На раме укреплено устройство для передвижения электродов *3* и *6*, закрепленных в держателях. Держатели передвигаются вдоль оси штурвалом *9*, а по вертикали — винтами *4* и *5*, расстояние между которыми регулируется винтом *7*. Пневматический подъемник *13*, шарниры *12* и *14*, стойки *11* и *15* позволяют наклонять якорь в процессе паяния на угол до 45°. Установка питается от понижающего трансформатора *10* мощностью 12 кВ × × А. Трансформатор снабжен регулятором вторичного напряжения, позволяющим регулировать ток в пределах от 500 до 1100 А.

Для паяния якорь устанавливают в центрах бабок и регулируют положение электродов так, чтобы они соприкасались с одной из пластин коллектора в разных точках, по возможности ближе один к другому. Петушки коллектора смазывают флюсом. Угольный электрод опускают на петушок, а медный — на пластину и включают ток. К торцу петушка подводят пруток припоя. В верхней части образуется капля припоя, которая, стекая вниз, засасывается в щель между стенками прорези. Этот метод обеспечивает высокую прочность и хороший кон-

такт. Разогрев петушка занимает 5—10 с. Паяние производится припоем на кадмиевой основе ПСр-3-Кд с температурой плавления 300 — 325°C. Прорези коллекторных пластин не облуживают.

§ 71. ОТДЕЛКА ЯКОРЯ

После укладки в пазы обмотки якоря, пайки ее с коллектором, забивки клиньев, пропитки и намотки бандажей необходимо выполнить следующие операции: заделать выступающий край миканитовой манжеты коллектора, обточить, продорожить, отшлифовать и отполировать рабочую поверхность коллектора. Эти операции объединяют под общим названием — отделка якоря.

Коллекторные пластины надежно изолированы от втулки и нажимных шайб при помощи манжет и цилиндра. Поэтому пробой изоляции на корпус внутри коллектора — явление очень редкое. Гораздо чаще якорь выходит из строя вследствие пробоя или перекрытия выступающего из-под пластин края миканитовой манжеты. Поверхность манжеты должна быть защищена несколькими слоями киперной ленты от расслаивания миканита при вращении якоря. Намотка киперной ленты имеет и другое значение. Между выточкой в коллекторных пластинах и манжетой имеется щель, в которую могут проникать пыль и влага. При намотке ленты эту щель закрывают.

Пробой манжеты объясняется тем, что при работе машины щеточная пыль значительно снижает электрическую прочность окружающей среды. Слой угольной пыли, оседая на поверхности манжеты, вызывает перекрытие изоляции электрическим разрядом. Средством борьбы с этим явлением служит лакировка киперной ленты, покрывающей манжету, для придания ей гладкой, блестящей поверхности, на которой пыль не может удержаться. Лакировка производится путем четырехкратного покрытия ленты, торцов коллекторных пластин и нажимной шайбы коллектора глифталевой эмалью с последующей сушкой каждого слоя в печи. Перед наложением последнего слоя следует очистить поверхность изоляции стеклянной бумагой.

Наружную поверхность якоря покрывают серой эмалью для создания водонепроницаемой пленки, которая защищает обмотку от проникновения влаги, а поверхность якоря — от коррозии. Покрытие производят пульверизатором, после чего якорь подвергают сушке. Продолжительность и температура сушки зависят от сорта эмали и изоляции обмотки якоря.

После лакировки и сушки якоря производят окончательную обработку рабочей поверхности коллектора на токарном станке. Конец вала поддерживается вращающимся центром станка, а шейка вала опирается на люнет, чем достигается концентричность обрабатываемой поверхности коллектора и шейки вала. Благодаря этому при вращении якоря в подшипниках машины после сборки коллектор будет иметь минимальное биение, что благоприятно сказывается на работе щеток. Коллектор обрабатывают резцами с пластинками из твердых сплавов при высоких скоростях резания с минимальной подачей и глубиной

резания. К проточке коллектора приходится прибегать и в процессе эксплуатации, когда поверхность его делается неровной.

Коллекторы диаметром выше 2150 мм протачивают в собранной машине при помощи переносного суппорта с механизированной подачей. Суппорт состоит из станины *2* (рис. 160), установленной на плите *1*, и имеет встроенный в станину электропривод продольной подачи

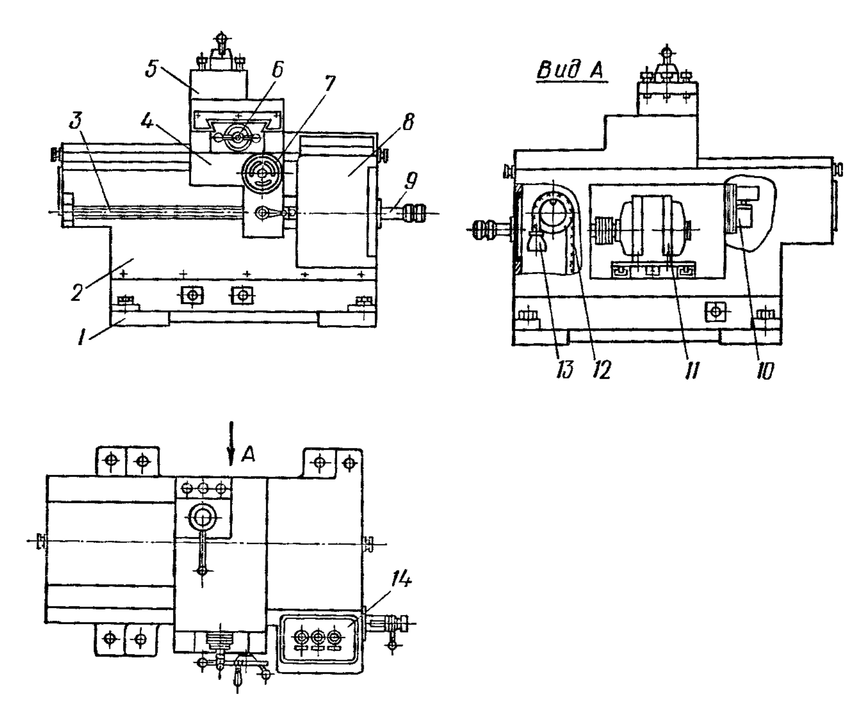


Рис. 160. Переносный суппорт для обточки коллекторов

и коробку передач *8* на четыре скорости, переключаемые рукояткой *9*. Каретка *4* с суппортом и резцедержателем *5* получает движение от ходового винта *3* либо передвигается вручную при помощи маховичка *7* и реечной передачи. В крайних положениях движения каретки ограничиваются упорами и конечными выключателями. Поперечная подача приводится от маховичка *6*.

Электродвигатель *11* с магнитным пускателем *10* подключается к электросети переносным гибким кабелем *12* со штепсельным соединением *13*. Управление электроприводом сосредоточено на пульте *14*, прикрепленном к станине. При установке суппорта его станина может быть повернута относительно плиты на 3° в ту или иную сторону.

В процессе обточки якорь вращают при помощи вспомогательного двигателя, соединив их валы муфтой. Если трудно установить вспомогательный двигатель, то можно обтачивать коллектор при вращении якоря собственным вращающим моментом. Для этого к якорю подводят

пониженное напряжение и создают в магнитной системе ослабленное поле, устанавливая скорость на окружности коллектора порядка 120 м/мин. Из всех щеткодержателей вынимают рабочие щетки во избежание повреждения их стружками и в один из щеткодержателей на каждом бракете вставляют изношенные щетки. Резец устанавливают точно в геометрической нейтрали во избежание искрения между ним и пластинами коллектора и, кроме того, изолируют резец от суппорта прокладками из картона или гетинакса. Перед началом обточки проверяют индикатором отсутствие биения коллектора при вращении.

По прошествии некоторого времени работы машин постоянного тока миканитовая изоляция между пластинами начинает выступать над поверхностью коллектора. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, истирание медных пластин коллектора щетками происходит быстрее, чем истирание прессованного миканита. Во-вторых, пластины изнашиваются вследствие не только трения щеток, но и переноса частиц меди на щетку при искрении на коллекторе, которое в большей или меньшей степени всегда происходит при работе машины. Искра под щеткой представляет собой маленькую электрическую дугу, имеющую высокую температуру. В результате искрения на коллекторе образуются мельчайшие углубления, а медь коллекторных пластин в расплавленном состоянии переносится на щетку. Этим объясняется то, что после длительной работы на контактной поверхности положительных щеток появляются медные вкрапления, а поверхность коллектора делается шероховатой. Наконец, миканитовая изоляция может выступать над поверхностью коллектора из-за взаимного перемещения меди и миканита при периодических нагреваниях и остываниях коллектора, во время работы машины и при остановках, так как при нагревании диаметр коллектора увеличивается вследствие расширения меди, а при остывании снова уменьшается.

Выступание изоляции над поверхностью коллектора даже на сотые доли миллиметра сильно ухудшает работу щеток, так как при этом увеличивается трение и нарушается контакт между щетками и пластинами коллектора. Чтобы избежать этого, во всех современных машинах постоянного тока производится продороживание коллекторов. Продороживание заключается в том, что миканитовая изоляция между коллекторными пластинами углубляется на 0,8—1,5 мм путем вырезания миканита. Таким образом, поверхность коллектора покрывается продольными дорожками в местах вырезки изоляции, откуда и пошло название этой операции — продороживание.

На рис. 161 показан станок для продороживания коллекторов машин постоянного тока средней мощности. Миканит вырезают фрезой *3* диаметром 20—25 мм. Толщину фрезы выбирают равной толщине миканитовых прокладок между пластинами коллектора *2*. Фреза насажена на шпиндель *4*, который через шпиндельную головку *5* соединен с электродвигателем *6*. Для установки фрезы по высоте шпиндельную головку можно перемещать вместе с суппортом *9* при помощи маховичка *7*. Продольная подача фрезы осуществляется маховичком *14*, передвигающим суппорт *8* по направляющим *12*. Шпиндельная головка укреплена на чугунной стойке *11*. Ввиду того что в коллекторах

обычно пластины перекашиваются, головка может поворачиваться относительно плиты *13*.

Якорь кладут шейками вала на роликовые опоры, оси которых опираются на стойки *10* и *17*. Прорезав одну прокладку, поворачивают якорь на одно деление коллектора маховичком *15*, который через валик *16* передает вращение червячной шестерне, поворачивающей один из роликов *1*. Миканитовые стружки удаляются при помощи вытяжной вентиляции с боковым отсосом. Чешуйки слюды и заусенцы медных пластин, оставшиеся после фрезерования, снимают шабером.

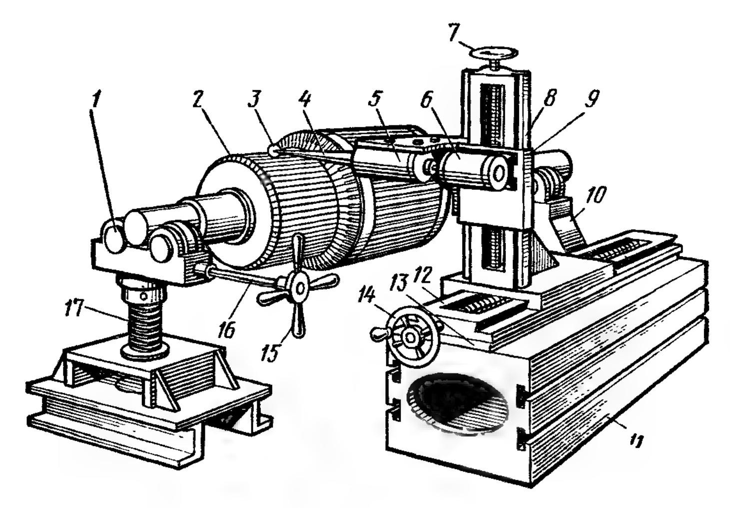


Рис. 161. Станок для продороживания коллекторов

Чтобы медные стружки не попали в обмотку, якорь при продороживании коллектора закрывают парусиновым чехлом.

Раньше при продороживании коллекторов фрезу устанавливали на каждой миканитовой прокладке вручную. Толщина отдельных медных пластин и миканитовых прокладок имеет отклонения от номинальных размеров. Если бы коллектор механически поворачивался после фрезерования каждой дорожки на одно коллекторное деление, то после нескольких поворотов фреза стала бы фрезеровать не миканит, а медь, и коллектор был бы испорчен. В последнее время разработаны полуавтоматические станки для продороживания коллекторов, оборудованные следящей системой, устанавливающей каждую миканитовую прокладку по центру фрезы. Благодаря этому повышена в несколько раз производительность труда и улучшено качество продороживания.

Для продороживания коллекторов крупных машин применяют переносные фрезерные головки (рис. 162). Их передвигают вдоль коллектора вручную. Вращение фрезе сообщается при помощи гибкого валика от электродвигателя. К лапам электродвигателя привернута пластина *11* с резиновыми амортизаторами. К подшипниковому щиту и станине привернута ручка для переноса продороживателя. На конец

вала надета муфта *1* брони *2* гибкого валика *3*. Броня валика представляет собой гофрированную трубку из спирально завитой профилированной ленты.

Один конец гибкого валика соединен с концом вала электродвигателя. Другой его конец имеет наконечник *5*, соединенный со шпинделем *7* фрезы *8*, которую он приводит во вращение. Конец брони валика трубкой *4* прикреплен к рукоятке *6*. Рукоятки *6* и *10* ввернуты в корпус *9* продороживателя. Во время работы фрезеровщик держит корпус продороживателя за обе рукоятки и продвигает фрезу вдоль коллектора. Для удаления миканитовой пыли и медной стружки установка для продороживания оборудована вытяжной вентиляцией.

При обточке резцом невозможно получить чистоту поверхности коллектора, необходимую для хорошей работы щеток. Кроме того, в процессе продороживания на пластинах могут появиться риски и царапины, поэтому необходимы шлифование и полировка поверхности коллектора.

Для шлифования применяют абразивные круги, не проводящие электрического тока. Наибольшее распространение получили искусственные шлифовальные круги, в состав которых входит пемза. Применяется также пемза, пропитанная керосином. Шлифовальный круг должен быть предварительно обработан по цилиндрической поверхности.

Полировка поверхности коллектора производится с помощью вогнутой деревянной колодки, обработанной по радиусу его цилиндрической поверхности и покрытой стеклянной бумагой мелких номеров. Часто полировка с помощью колодки выполняется после обточки; тогда она заменяет шлифование коллектора абразивными кругами. Полировка колодкой со стеклянной бумагой применяется и в про-

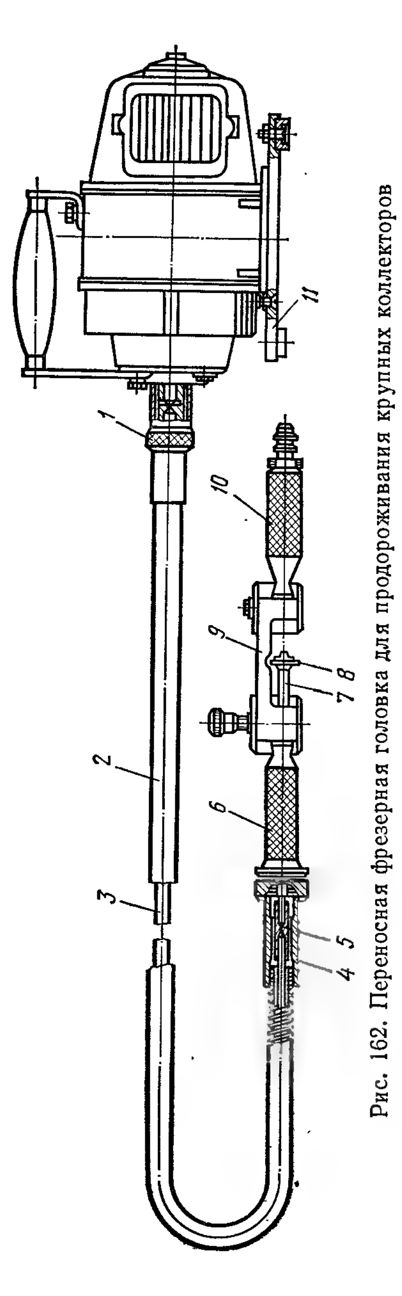


Рис. 162. Переносная фрезерная головка для продороживания крупных коллекторов

процессе эксплуатации машины для снятия шероховатостей и нагара.

Коллекторы крупных машин в процессе эксплуатации шлифуют в собственных подшипниках. Для этой цели служат переносные шлифовальные станки (рис. 163). Станок жестко закрепляют на стойке *5*,

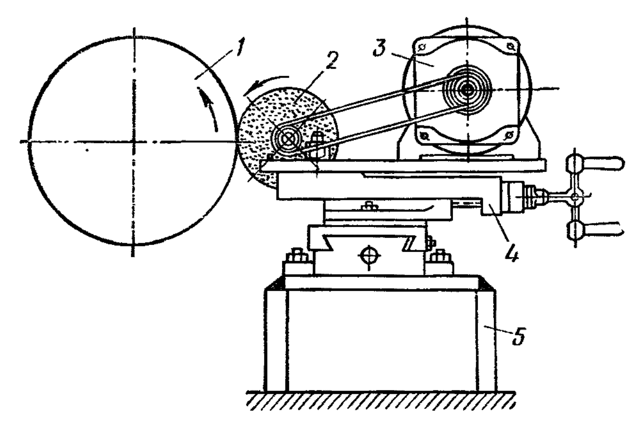


Рис. 163. Переносный станок для шлифовки коллекторов

привинченной к фундаментной плите. К поверхности коллектора *1* подводят шлифовальный круг *2*, приводимый во вращение электродвигателем *3*. Глубина шлифования устанавливается поперечным передвижным суппортом *4*, а продольная подача — передвижением суппорта вдоль коллектора.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются петлевые обмотки от волновых?
2. Что называется практической схемой обмотки якоря?
3. В чем заключается расчет простой петлевой обмотки якоря?
4. Чем отличается сложно-волновая обмотка от простой?
5. Какие свойства имеет волновая обмотка?
6. Как рассчитывают и составляют таблицу якорной обмотки?
7. Что такое уравнительные соединения?
8. Какое устройство имеют лягушечьи обмотки?
9. Какие существуют способы разметки якоря под обмотку?
10. Расскажите об устройстве коллекторов и их петушков.
11. Как устроен станок для обмотки якорей?
12. Как устроена ванна для пайки коллекторов?
13. Расскажите о процессе пайки коллектора твердыми припоями.

ГЛАВА X. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

§ 72. НАМОТКА ПРОВОЛОЧНЫХ БАНДАЖЕЙ

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотку из пазов и отогнуть лобовые части. Центробежные силы пропорциональны величине вращающихся масс и квадрату скорости вращения. Например, при диаметре якоря 500 мм и скорости вращения 1000 об/мин центробежная сила в 250 раз больше массы обмотки. При увеличении скорости до 2000 об/мин центробежная сила увеличится в четыре раза и к каждому килограмму массы на окружности якоря будет приложена сила 1 тс.

Лобовые части всех обмоток удерживаются от отгибания под действием центробежных сил проволочными бандажами, за исключением обмоток роторов турбогенераторов, на которые надевают бандажные кольца. Что касается пазовых частей, то они могут крепиться в пазах как бандажами, так и клиньями. Это зависит от формы паза. Пазовые части обмоток при закрытых, полузакрытых и полуоткрытых пазах крепят клиньями из дерева, текстолита или пластмассы (см. рис. 1, *а*, *б*, *в*).

При открытой форме паза применяют как клинья (см. рис. 1, *б*), так и бандажи (см. рис. 1, *г*). Обычно бандажи при открытых пазах используют только в машинах небольшой мощности с диаметром якоря до 300 мм, так как они занимают мало места по высоте паза. Крупные машины выполняют всегда с пазовыми клиньями. Клинья хорошо защищают обмотку в пазах от загрязнений, создается небольшое давление обмотки на каждый сантиметр площади клина, в клиньях отсутствуют потери на вихревые токи при вращении якоря в магнитном поле.

Клинья применяют также для крепления в пазах статорных обмоток машин переменного тока. Статорные обмотки хотя и не подвержены действию центробежных сил, но должны быть прочно закреплены в пазах для защиты от перемещений под действием электродинамических сил.

Бандажи наматывают из специальной луженой стальной проволоки, обладающей высокой механической прочностью (180 кгс/мм²). Бандажная проволока поступает на завод в бухтах и имеет диаметр от 0,2 до 2,5 мм. Проволочные бандажи наматывают с большим натяжением, которое контролируется динамометром. В результате натяжения проволоки при намотке обмотка прижимается к дну паза с бóльшей силой, чем центробежная сила при вращении ротора, благодаря чему обмотка не перемещается в пазах.

Величина натяжения указана в табл. 12, в которой приведены также диаметры проволоки в зависимости от диаметра якоря. Диаметр проволоки зависит от диаметра якоря потому, что с увеличением его диаметра растет окружная скорость.

Таблица 12

Натяжение бандажной проволоки при намотке бандажей

Диаметр якоря, мм	Диаметр проволоки, мм	Натяжение, кгс, проволоки при намотке			
		временного бандажа	основного бандажа		
			1-й слой	2-й слой	3-й слой
От 100 до 200	0,8	40—60	35—55	30—50	30—45
» 201 » 400	1	65—90	55—80	50—80	45—70
» 401 » 600	1,2	95—130	80—120	75—115	65—105
» 601 » 1000	1,5	140—230	125—185	115—175	100—165
Свыше 1000	2	250—360	220—330	205—315	180—290

В крупных машинах бандажи на лобовых частях могут быть намотаны в несколько слоев. В этом случае натяжение проволоки в каждом последующем слое должно быть меньше, чем в предыдущем (табл. 12). Если бы все слои наматывали с одинаковым натяжением, то бóльшая часть нагрузки от центробежной силы пришлась бы на последний слой.

В многослойных бандажах между слоями прокладывают изоляцию из асбестовой бумаги для снижения потерь на вихревые токи в сечении бандажа. При намотке многослойных бандажей каждый слой наматывают и пропаивают отдельно. Намотку первого слоя ведут от сердечника якоря к коллектору, второго — в обратную сторону и т. д. Такой порядок намотки исключает выпучивание лобовых частей обмотки у торца сердечника.

При временном отсутствии бандажной проволоки данного диаметра приходится ее заменять проволокой другого диаметра. При этом необходимо учитывать, что прочность каждого витка зависит от квадрата диаметра. Например, если по расчету бандаж должен состоять из 50 витков проволоки диаметром 1,2 мм, а имеется проволока диаметром 1 мм, то вместо 50 витков надо намотать $50 \cdot \frac{1{,}2^2}{1^2} = 72$ витка. При этом увеличится и ширина бандажа, которая при диаметре проволоки 1,2 мм была $1{,}2 \cdot 50 = 60$ мм, а теперь стала $1 \cdot 72 = 72$ мм. Поэтому перед намоткой надо проверить, уложится ли этот бандаж на лобовых частях обмотки.

Для намотки бандажей на сердечнике якоря образуют канавки путем набора части листов уменьшенного диаметра. Ширина бандажей должна быть не более 25—30 мм во избежание больших потерь на вихревые токи в сечении бандажей. Чтобы витки обмотки не замыкались проволочными бандажами, под них подкладывают изоляцию из полосок электрокартона при классе изоляции А или гибкий миканит и

электрокартон при классе В. Перед намоткой бандажа на лобовую часть сначала стягивают обмотку временными бандажами из 4—5 витков у сердечника якоря и у петушков коллектора. Затем снимают временные бандажи, отпускают тормоз станка и закрепляют начало проволоки за деревянный клин, вставленный между катушками обмотки около сердечника.

Под первый виток кладут заготовленную изоляцию и требуемое по чертежу число полосок белой жести для промежуточных скрепок (рис. 164, *а*). Этими скрепками (рис. 164, *б*) соединяют витки бандажа. Для закрепления конца и начала бандажа кладут две полоски на расстоянии 10—30 мм одну от другой. Начало и конец бандажа должны перекрываться, чтобы на этом участке бандаж не был ослаблен на один виток. После намотки первого витка его огибают концом скрепки и на нее мотают следующие витки. Конец бандажа после запаивания и отрезания его от бухты вводят в заготовленное ушко скрепки (рис. 164 *в*). Во избежание разматывания конец и начало проволоки загибают (рис. 164, *г*). Бандажи на пазовые части наматывают одним куском проволоки с переходными витками от одного бандажа к другому. После закрепления начал и концов переходные витки вырезают кусачками.

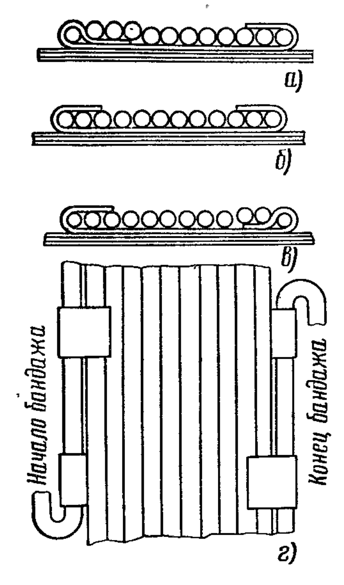


Рис. 164. Заделка концов бандажа:

а — начало бандажа, *б* — промежуточная скрепка, *в* — конец бандажа, *г* — расположение скрепок для начала и конца бандажа

При расчете бандажей считают, что напряжения между всеми витками распределяются равномерно. Однако в действительности это не так. Вследствие неизбежных колебаний натяжения проволоки при намотке бо́льшим напряжениям будут подвержены те витки, которые намотаны с бо́льшим натяжением. Обычно наибольшие напряжения приходятся на последние витки у переходных витков. Практика эксплуатации показывает, что при недостаточно надежной заделке последних витков разматывание и разрывы бандажей начинаются именно с них.

Разматывание бандажа, если его вовремя не заметить, приводит к тому, что обмотка якоря выступает из пазов или поднимается над обмоткодержателями и задевает за полюса. Это полностью выводит машину из строя. Чтобы избежать таких аварий, витки бандажа пропаивают по всей окружности якоря. Эта операция значительно усложняет технологический процесс и ведет к большому расходу дорогих припоев. Процесс паяния вредно отражается на состоянии изоляции обмотки, вызывая ее ускоренное старение. Замыкание витков бандажа припоем увеличивает потери на вихревые токи.

§ 73. БАНДАЖИ ИЗ СТЕКЛОЛЕНТЫ

Бандажи из стальной проволоки имеют недостатки, и, несмотря на сложность выполнения, не обеспечивают надежной работы машин, особенно таких ответственных, как тяговые двигатели. Поэтому уже давно технологи и рационализаторы хотели заменить проволочные бандажи бандажами из какого-либо изоляционного материала. Разрешить задачу удалось, применив для бандажей нетканую стеклоленту, в которой связующая смола при нагреве достаточно текуча, в результате чего заполняются пустоты и образуется однородная масса. Переход смолы в неплавкое и нерастворимое состояние происходит при термической обработке намотанного на якорь бандажа. В окончательном состоянии стеклобандаж представляет собой твердый, несколько пружинящий материал. Стеклолента для бандажей была разработана Всесоюзным электротехническим институтом имени В. И. Ленина совместно с Институтом стекловолокна. Наилучшие результаты получены при применении эпоксидного лака ЭТР5.

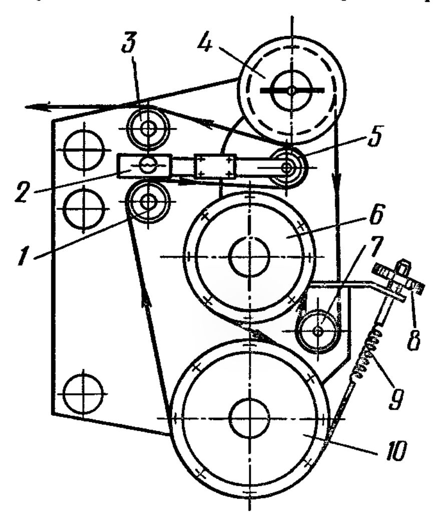


Рис. 165. Натяжное устройство для намотки бандажа из стеклоленты

После первых опытов применения стеклобандажей для тяговых двигателей, давших хорошие результаты, замена проволочных бандажей стала широко внедряться на ряде заводов. Это дает экономию дефицитных материалов, снижает стоимость электрических машин, повышает их характеристики и эксплуатационную надежность, упрощает конструкцию и технологию изготовления. Кроме того, при разрыве проволочного бандажа в машинах постоянного тока одновременно с якорем разрушалась полюсная система с катушками возбуждения, и двигатель требовал полного восстановления. Этого не происходит при бандажах из стеклоленты. Замена проволочных бандажей стеклобандажами на одном тяговом двигателе для электровоза дает экономию 130 руб., причем экономится 65 кг бандажной проволоки, 4,7 кг припоя, 15 кг гибкого миканита и 5 кг электрокартона.

Бандажи из стеклоленты наматывают на обычном бандажировочном станке с измененным натяжным устройством. Натяжение ленты 40—100 кгс в зависимости от размеров якоря. После намотки расчетного числа витков ослабляют натяжение, ленту разрезают и конец ее прижимают к намотанному бандажу. Благодаря связующей смоле лента плотно соединяется с витками бандажа. Якорь сушат в печи и пропитывают по обычной технологии. В процессе сушки смола отвердевает и бандаж превращается в монолитное прочное кольцо.

Натяжное устройство для намотки бандажа из ленты (рис. 165) применяется при бандажировке якорей крановых и металлургических двигателей постоянного тока. Лента с барабана *4* проходит через направляющий ролик *7* и огибает барабаны *6* и *10*, создающие необходимое натяжение. Затем она проходит через направляющие ролики *1*, *3* и *5* и наматывается на якорь. Натяжение ленты регулируется пружиной *9* путем поворотов маховичка *8* и контролируется динамометром *2*.

При замене проволочного бандажа бандажом из стеклоленты число витков ленты рассчитывают по формуле

$$w_л = \frac{\sigma_c \pi d_c^2 w_c}{4\sigma_л S_л},$$

где σ_c — предел прочности при растяжении бандажной проволоки, равный 140—170 кгс/мм²; d_c — диаметр проволоки, *мм*; w_c — число витков бандажа; $\sigma_л$ — предел прочности при растяжении стеклоленты, равный 40 кгс/мм²; $S_л$ — сечение ленты, мм².

Общее сечение стеклобандажа получается в 2—2,5 раза больше сечения проволочного бандажа.

§ 74. БАНДАЖИРОВОЧНЫЕ СТАНКИ

Бандажировочные станки относятся к нестандартному оборудованию и изготовляются заводами для собственных нужд из старых токарных станков. Бандажировочные станки должны быть снабжены динамометрами для контроля за натяжением проволоки и тормозами для предохранения от ослабления натяжения проволоки при остановке станка.

На рис. 166 показано устройство бандажировочного станка. Бандажируемый якорь *1* ставят в центры станка и приводят во вращение поводковой планшайбой *3*. На обод планшайбы наложена лента *2* тормоза, которая нормально держит планшайбу в заторможенном состоянии под действием пружины *6* на конце рычага *7*. Растормаживание производится ножной педалью *11* через трос *13*, огибающий направляющий ролик *8*. В процессе намотки педаль все время должна быть нажата. Пружина *10* служит для возвращения педали в исходное положение. С этой же педалью при помощи троса *14* связано управление фрикционной муфтой *12*. Муфта и тормоз сблокированы так, что при отпускании тормоза муфта включается, а при затормаживании выключается. Тормоз обеспечивает постоянное натяжение проволоки при остановке станка. Бандажная проволока с бухты *16* проходит через фетровые прокладки *17*, стянутые стальными пластинками, и натяжные ролики *15*, а затем через направляющие ролики *5* подводится к окружности якоря. На рисунке прохождение проволоки показано стрелками.

Натяжение проволоки регулируется силой сжатия прокладок *17* и количеством роликов *15*, которые огибаются проволокой. Натяжение контролируется динамометром *4*, к крюку которого подвешена обойма ролика *5*, также огибаемого проволокой. Продольная подача проволо-

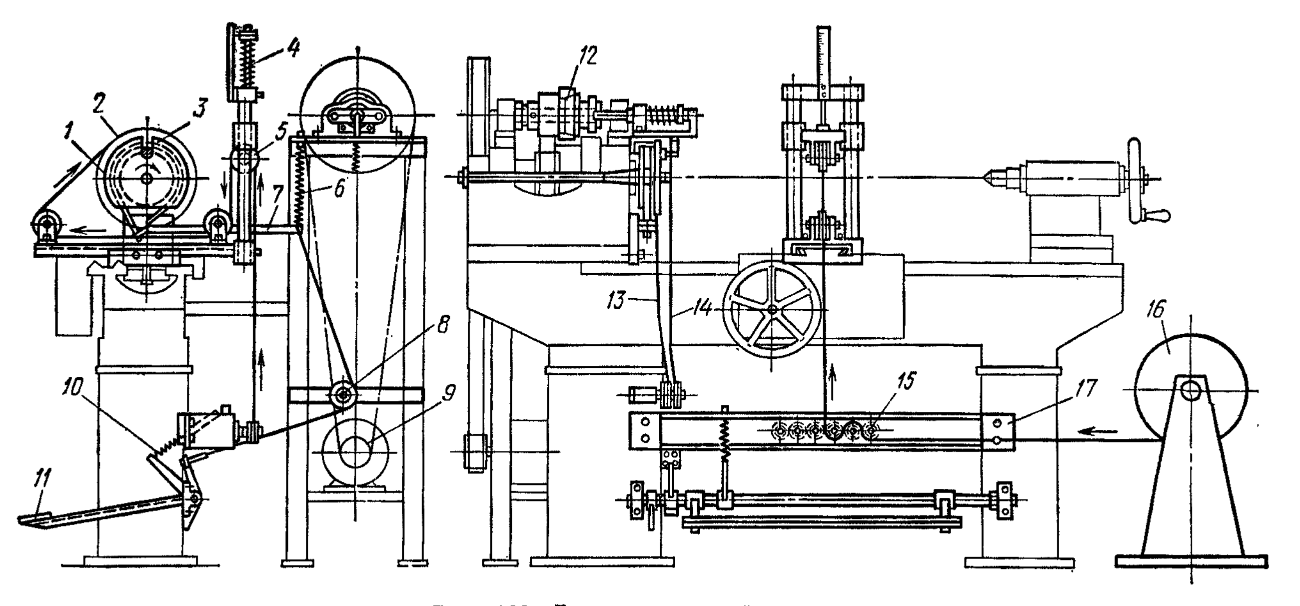


Рис. 166. Бандажировочный станок

ки при намотке бандажей обеспечивается благодаря передвижению суппорта. Станок приводится в действие от электродвигателя *9* мощностью 1,5 кВт при 1420 об/мин. Бандажируемый якорь вращается со скоростью 27 об/мин.

Бандажировочные станки, переделанные из обычных токарных станков, имели несовершенные механизмы и изготовление их обходилось дорого. Специализация заводов на определенные типы электрических машин и увеличение выпуска потребовали более совершенных бандажировочных станков, снабженных более надежными механизмами натяжения. При намотке многовитковых бандажей пользуются счетчиками оборотов, что освобождает бандажировщика от необходимости считать намотанные витки. Шпиндели этих станков имеют бесступенчатые вариаторы для изменения скорости вращения. Это позволяет для каждого типа якоря установить наиболее рациональную скорость вращения.

Кинематическая схема одного из типов полуавтоматических станков для намотки бандажей из стеклоленты показана на рис. 167. Передняя бабка имеет шпиндель *18*, приводимый во вращение электродвигателем *10* через клиноременную передачу *11* и блоки шестерен *14* и *17*, позволяющие получить при переключениях зубчатой муфты *16* различные скорости вращения бандажируемого якоря *19*. От блока шестерен *17* через систему зубчатых передач *12* и *13* приводится в движение также силовой *1* и ходовой *2* валики, скорость вращения которых подбирается в зависимости от режимов намотки.

Ходовой валик обеспечивает механическую подачу и ускоренное перемещение каретки. Перемещение осуществляется реечной передачей *29*, шестерня которой получает вращение от ходового валика через зубчатую передачу *6*, коническую *5* и цилиндрические зубчатые пары, связанные с реечной шестерней управляемыми электромагнитными муфтами *3* и *30*, обеспечивающими движение каретки в требуемую сторону и реверсирование при раскладке ленты. Кроме того, каретка может перемещаться вручную маховиком *4*. Увеличение скорости перемещения каретки достигается за счет вспомогательного электродвигателя *31*.

Силовой валик через систему шестерен *7* приводит во вращение фрикционный диск *27*, который передает движение через фрикционные диск *28*, обгонную *26* и электромагнитную *25* муфты тормозным барабанам *20*, связанным между собой шестернями *22*. Шестерня *24* приводит в движение прижимной валик *21*. Электромагнитная муфта обеспечивает свободное перемещение тормозных барабанов при заправке ленты. При заправке ленты и создании натяжения вращаемая маховичком *23* обгонная муфта препятствует ослаблению натяжения ленты. Катушка с лентой *9*, установленная на оси, при отключении привода шпинделя станка тормозится электромагнитной муфтой *8* во избежание самопроизвольного разматывания ленты. Ослабление натяжения ленты при остановке станка предотвращается поводковой обгонной муфтой *15*, которая исключает поворот якоря в направлении, обратном направлению рабочего движения, и в то же время обеспечивает реверсирование шпинделя.

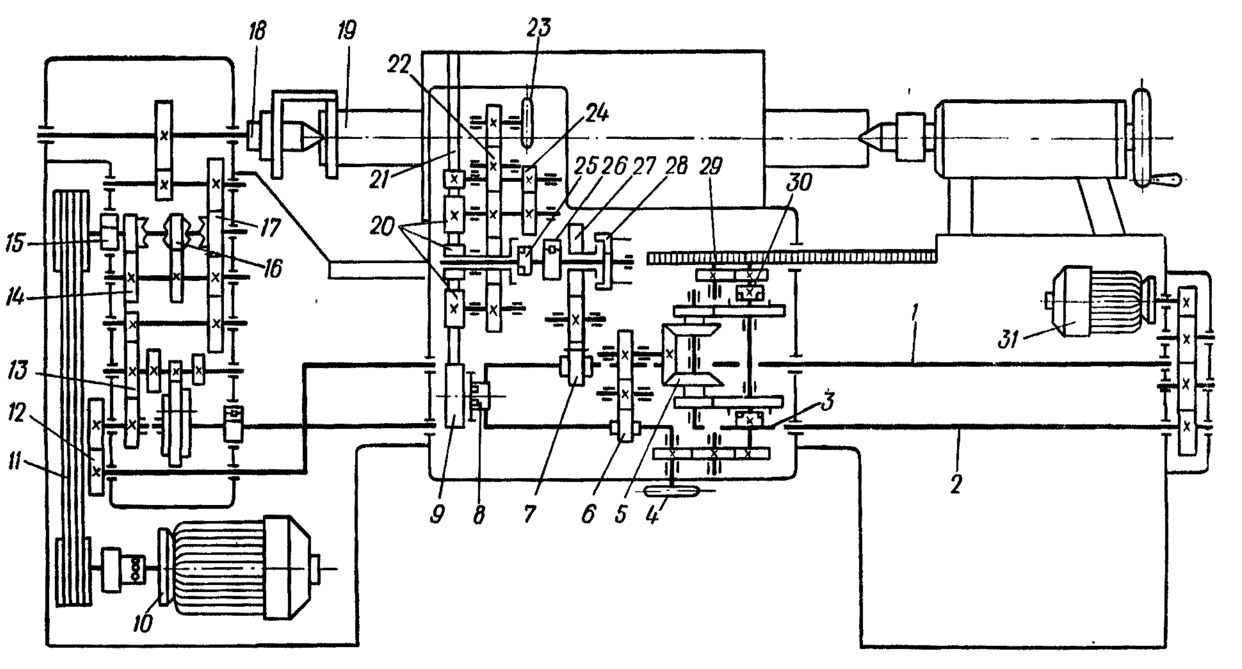


Рис. 167. Кинематическая схема полуавтоматического станка для намотки бандажей из стеклоленты

Система бесконтактных путевых выключателей, управляющих электромагнитными муфтами 3 и 30, обеспечивает автоматическую раскладку ленты по ширине бандажа. При заправке ленты прижимной ролик откидывается специальным рычажным устройством.

В станке применена новая система натяжного устройства (рис. 168) Лента с катушки 1 подается к якорю через натяжной ролик 4. На валу ролика 4 установлен тормоз 3. Подпружиненный ролик 2, прижимая ленту к ролику 4, создает натяжение на набегающей ветви. Передаточные отношения шестерен подобраны так, что линейная скорость якоря несколько превышает линейную скорость движения роликов.

С внедрением полуавтоматического бандажировочного станка производительность бандажировки якорей повысилась в несколько раз.

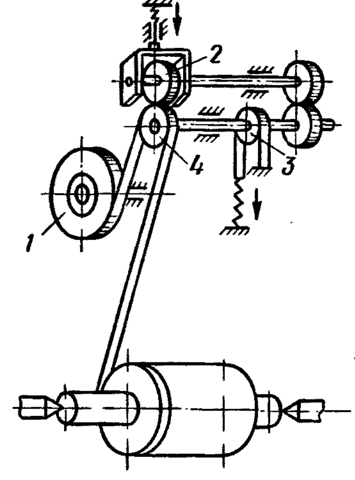


Рис. 168. Натяжное устройство для стеклоленты

§ 75. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК ПАЗОВЫМИ КЛИНЬЯМИ И БАНДАЖНЫМИ КОЛЬЦАМИ

Обмотки якорей с открытыми и полузакрытыми пазами крепят клиньями. Заранее заготовляют клинья трапецеидального сечения из твердых пород дерева (бука, березы) или текстолита. Для клиньев применяют высушенное дерево, так как сырые клинья в процессе работы усыхают и могут выскочить из пазов. Дерево сушат в специальных сушильных печах или токами высокой частоты. Для клиньев выбирают бруски дерева без всяких пороков (сучьев, трещин, расслоений). Бруски режут под углом 30° к растительным волокнам во избежание скалывания слоев при забивании клина в паз. В крупных машинах с длинными сердечниками в каждый паз забивают несколько коротких клиньев.

При изготовлении пазовых клиньев из дерева или текстолита много материала идет в стружку. Кроме того, недостаток клиньев, как уже отмечалось, заключается в трудоемкой ручной работе при забивании их в пазы. Этих недостатков можно избежать, заклинивая пазы пропитанным шнуром. На рис. 169 показана схема этого процесса. Шнур подводится к пазу и сдавливается двумя пуансонами (рис. 169, I) до толщины, несколько меньшей прорези паза. Затем третьим узким пуансоном он вдвигается в паз (рис. 169, II) и заклинивает обмотку. После этого клин отрезается от шнура (рис. 169, III), который намотан в виде бухты, и процесс повторяется над другим пазом. Этот процесс может быть полностью механизирован. Такие станки применяют для заклинивания пазов статора электродвигателей единой серии третьего

габарита. Они обладают высокой производительностью (более 80 пазов в минуту).

В крупных электрических машинах забивание в пазы клиньев требует применения больших усилий. Наибольшую трудность представляет заклинивание пазов роторов турбогенераторов ввиду боль-

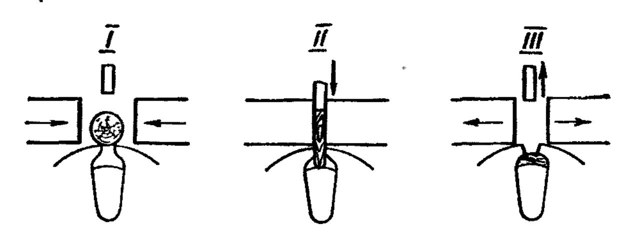


Рис. 169. Заклинивание пазов шнуром:
I, II, III — последовательность процесса

шой длины ротора, достигающей 6 м. Пазы забивают клиньями из дюралюминия, так как обмотки ротора подвержены огромным центробежным силам. Для заклинивания пазов применяется гидравлическая установка, состоящая из двух тумб и горизонтального цилиндра, подающего клинья в пазы.

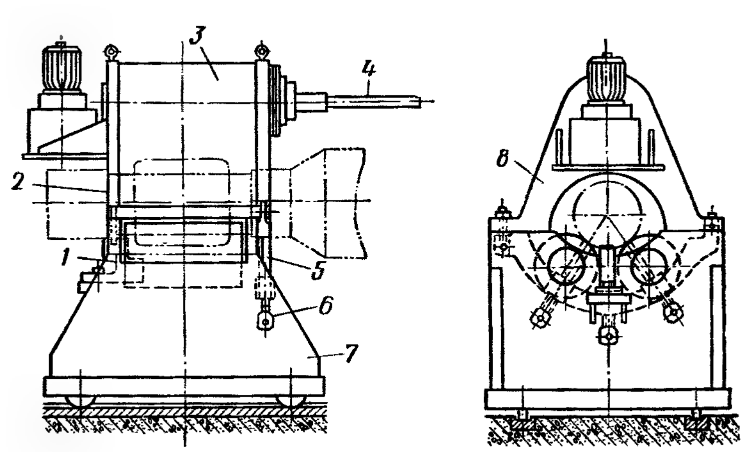


Рис. 170. Подвижная гидравлическая установка для заклинивания пазов роторов турбогенераторов

На рис. 170 показана подвижная гидравлическая установка, подводимая к ротору при заклинивании пазов. Арочный корпус *8* сварного типа прикреплен к тумбе *7*, несущей ролики, на которые опирается шейка вала ротора (изображена на рисунке пунктиром). В корпусе закреплены горизонтальный цилиндр *3* со штоком *4* и маслоагрегат, служащие для вдвигания клиньев в пазы. В проушинах корпуса крепится откидной хомут *5* с тремя подводимыми опорами *6*. Они

не должны препятствовать поворотам ротора, когда не включен горизонтальный цилиндр. Регулируемый упор *1* упирается в буртик *2* ротора и вместе с хомутом предохраняет стойку от опрокидывания при подаче клина в паз с усилием, которое достигает 15 тс. Перед вдвиганием клина участок паза с обмоткой обжимается гидравлическими цилиндрами. Для снижения усилия вдвигания клинья предварительно охлаждают в жидком азоте; при этом их поперечные размеры уменьшаются.

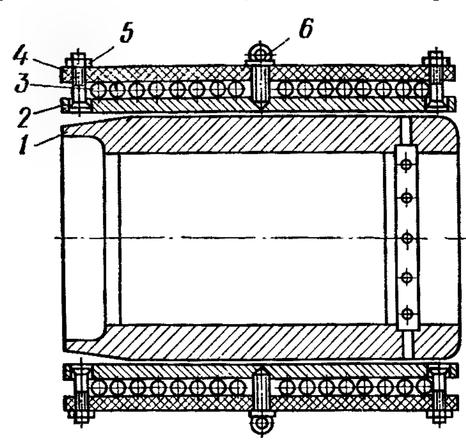


Рис. 171. Индуктор для нагрева бандажного кольца

Чтобы избежать деформации лобовых частей обмотки ротора под действием центробежных сил, на них в горячем состоянии насаживают массивные бандажные кольца, откованные из немагнитной стали. При нагреве до 200—230° С внутренний диаметр кольца увеличивается на 4—5 мм, что позволяет насадить его на лобовые части с большим натягом после остывания. Для равномерного нагрева кольца пользуются индуктором, питаемым от сети переменного тока.

На рис. 171 показан индуктор, надетый на бандажное кольцо *1*. Обмотка *3* индуктора состоит из витков медной трубки, по которой циркулирует вода. Витки обмотки закреплены четырьмя планками *2* из полосовой латуни и планками *4* из гетинакса, скрепленными винтами *5*. Витки обмотки и латунные планки изолированы асбестовой лентой. Подъемные кольца *6*, расположенные в двух диаметрально противоположных точках, служат для надевания индуктора на кольцо. По сравнению с нагревом газовыми горелками при нагреве индук-

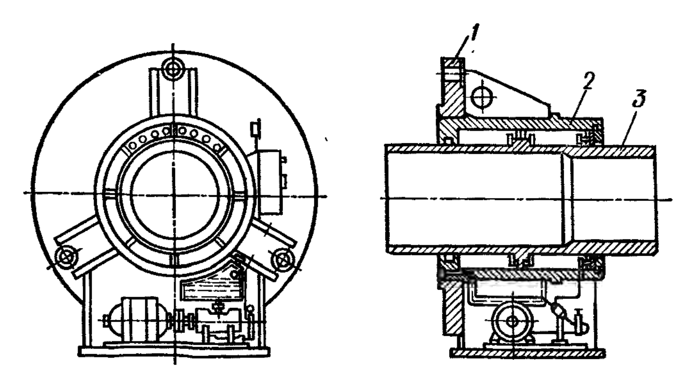


Рис. 172. Гидравлический пресс для насадки и снятия бандажных колец

тором обеспечивается равномерное распределение тепла, отсутствие деформаций кольца и значительное сокращение времени нагрева.

Нагретое бандажное кольцо подвешивают на тросе на крюк крана, подводят к торцу ротора и быстро надевают на лобовые части обмотки.

В крупных турбогенераторах для насадки и снятия бандажных колец применяют гидравлический пресс, который схематически показан на рис. 172. Основной его частью является неподвижный цилиндр *3*, который надевают на шейку ротора и закрепляют. По нему может передвигаться подвижной поршень *2*, внутренняя полость которого разделена на две части. Масляный насос с двигателем может перекачивать масло под давлением 100 кгс/см² из одной части поршня в другую. Если масло подается в левую часть поршень насаживает бандажное кольцо. При перекачивании масла в правую часть кольцо снимается. К поршню приварена планшайба *1*, в которой закрепляют шпильки, передающие усилие на бандажное кольцо.

Контрольные вопросы

1. Какое назначение имеют пазовые клинья и бандажи?
2. Как заделывают начала и концы проволочных бандажей?
3. Какие преимущества имеют бандажи из стеклоленты перед проволочными?
4. В чем заключается процесс намотки бандажа из стеклоленты?
5. Какие существуют способы заклинивания пазов?
6. Как надевают бандажные кольца на лобовые части обмотки ротора турбогенератора?

ГЛАВА XI. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

§ 76. ВИДЫ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ

Основное внимание при контроле и испытаниях должно быть обращено на проверку электрической прочности изоляции обмоток, потому что, как показывает опыт эксплуатации, подавляющее большинство аварий электрических машин происходит из-за нарушения изоляции между витками обмотки и между обмоткой и корпусом.

Контрольные операции служат для проверки соответствия обмотки чертежу и расчетной записке. В процессе контроля проверяют размеры катушки, ее сопротивление, сопротивление изоляции, отсутствие в обмотке обрывов, плохих контактов или замыканий между изолированными друг от друга проводами, правильность соединений отдельных элементов обмотки между собой, с пластинами коллектора или выводными зажимами. Контрольные операции предусмотрены технологическим процессом на разных стадиях изготовления укладки обмоток.

Однако одних контрольных операций еще недостаточно, чтобы судить о том, насколько электрическая машина будет надежной в работе. Из двух машин, прошедших контроль, одна может проработать безотказно несколько лет, а другая выйдет из строя через несколько дней. Для проверки надежности служат испытания отдельных обмоток на разных стадиях производства и готовой машины перед выпуском ее с завода. При испытаниях обмотки подвергают действию повышенных напряжений, токов, скоростей вращения. При этом выявляют и бракуют элементы обмоток с ослабленной изоляцией. На первых стадиях производства предусмотрены более высокие испытательные напряжения, чем при последующих испытаниях. Это объясняется тем, что сменить, например, одну катушку обмотки легче до пропитки якоря, чем после нее, а тем более после сборки машины.

Обмотки контролируют и испытывают в четырех стадиях производства и работы машин: после изготовления элементов обмотки; после укладки обмотки в пазы; после сборки машины; в процессе эксплуатации машины.

После изготовления элементы обмотки контролируют и испытывают, чтобы не допустить укладки в пазы заведомо негодных катушек. Уложив обмотки в пазы, выявляют ослабления и нарушения изоляции, происшедшие в процессе укладки обмоток, так как это нельзя проверить в собранной машине. При испытаниях собранной машины проверяют надежность обмоток при повышенных скоростях вращения и под нагрузкой. Кроме того, при этом проверяют расположение об-

моток и взаимодействие между ними и другими частями машины. Испытания в процессе эксплуатации машины служат для определения степени изношенности или старения изоляции. Они предупреждают аварийный выход машины из строя, который часто приносит во много раз больше убытков производству, чем стоит машина.

При проектировании обмотки определяют ее размеры. Однако как обозначение этих размеров на чертежах, так и контроль их значительно отличаются от контроля механических деталей, например вала. Дело в том, что размеры поперечного сечения катушек составляются из суммы размеров многих проводов и многих слоев изоляции, из которых каждый имеет допуск по толщине; плотность их прилегания также может быть различной. При пропитке и особенно при компаундировании обмотки увеличиваются в объеме. Продольные контуры обмоток не могут быть строго прямолинейны. Поэтому на номинальные размеры на чертежах дают допуски или вместо номинальных ставят наибольшие допустимые размеры со словами «не более».

Однако не на все размеры могут быть даны большие допуски. Такие размеры, как толщина и высота пазовой части катушки, дают на чертежах с жесткими допусками и проверяют специальными предельными калибрами. Действительный размер сечения катушки должен быть меньше ширины паза калибра, т. е. калибр должен легко надвигаться на любое место пазовой части катушки.

Чтобы проверить центральный угол между пазовыми частями статорной катушки, применяют деревянные макеты, в которые вкладывают пазовые части. Для проверки полюсных катушек изготовляют специальные шаблоны; их вдвигают во внутреннее окно катушки. Высоту катушки проверяют при помощи специального измерительного приспособления.

Чтобы выдержать размеры с указанными на чертеже допусками, предусматривают специальные операции в технологическом процессе. Так, например, статорные катушки рихтуют в приспособлениях, пазовые части их прессуют в гидравлических прессах, полюсные катушки прессуют по высоте с одновременным расклиниванием внутреннего окна.

§ 77. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК

У каждой намотанной катушки и уложенной в пазы обмотки измеряют омическое сопротивление. У обмоток с большим сопротивлением измерение производят при помощи универсального моста, а у обмоток с малым сопротивлением — методом амперметра и вольтметра. Для этого через обмотку пропускают постоянный ток и одновременно измеряют величину тока и напряжения. Сопротивление обмотки по закону Ома равно частному от деления напряжения на ток.

В обмоточной записке нельзя указывать номинальное расчетное сопротивление обмотки, так как вследствие отклонений сечений провода и различной плотности намотки сопротивления отдельных катушек могут отличаться. Поэтому в обмоточной записке указывают допуск ±(5—7)%.

На рис. 173 показан универсальный мост сопротивлений. Выводы измеряемой обмотки присоединяют к зажимам *2* моста. Затем поворотом рукояток переключателей *1* сопротивлений подбирают сопротивление, близкое к расчетному сопротивлению обмотки. После этого нажимают одну из кнопок *3* с надписью «Грубо» и стрелка прибора отклоняется вправо или влево от среднего положения. На циферблате *4* имеется шкала с нулем посередине. Если стрелка отклонится вправо от среднего положения, надо увеличить сопротивление, и наоборот. После нескольких поворотов рукоятки стрелка при нажиме кнопки *3* с надписью «Точно» установится на нуль. Тогда по цифрам на дисках переключателей определяют сопротивление и сравнивают его с сопротивлением, указанным в обмоточной записке. Питание моста осуществляется от элементов *5*.

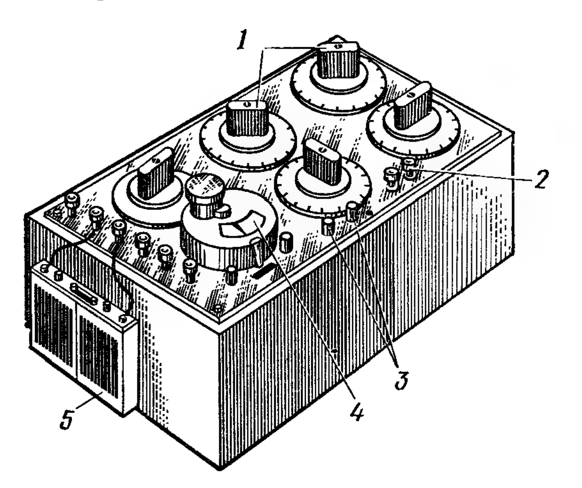


Рис. 173. Универсальный мост сопротивлений

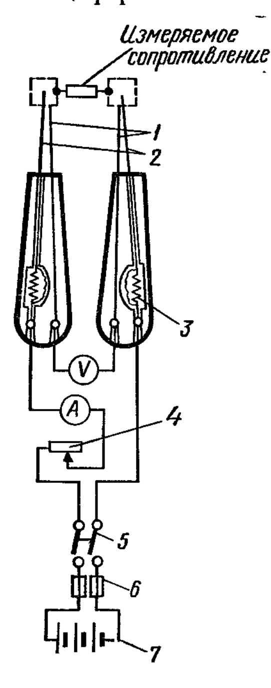


Рис. 174. Щупы для измерения сопротивления

Для измерения сопротивления обмотки якоря методом амперметра и вольтметра пользуются специальными щупами, прижимая их к двум пластинам коллектора, удаленным на полюсное деление. Каждый щуп имеет две иглы. Одна из них *1* (рис. 174) жестко связана с изоляционной колодкой, а другая *2* выдвигается спиральной пружиной *3*. К иглам *1* присоединен милливольметр *V*, а к иглам *2* — цепь питания, состоящая из аккумуляторной батареи *7*, рубильника *5*, предохранителей *6*, амперметра *A* и реостата *4*. Реостатом устанавливают величину тока, при которой отклонения стрелок приборов будут заметны.

Двойные иглы щупов сделаны для предохранения милливольтметра от перегорания при случайном отключении одного из щупов от коллекторной пластины, когда на милливольтметр приходится все напряжение аккумулятора. При двойных иглах милливольтметр отключится

раньше, чем игла цепи питания. Кроме того, двойные иглы исключают влияние непостоянства сопротивления контактов игл питания на результаты измерения.

Чтобы измерить сопротивление обмотки, записывают показания приборов. Для перевода показаний приборов в вольты и амперы надо знать цену деления каждого прибора. Ценой деления называется частное от деления предела измерения на число делений шкалы. Например, если предел измерения милливольтметра 0,5 В, а шкала его имеет 200 делений, то цена одного деления будет 0,5 : 200 = 0,0025 В. Для амперметра с пределом измерения 10А и числом делений шкалы 200 цена деления будет 10 : 200 = 0,05А. Если при измерениях стрелка милливольтметра стояла на делении 120, а стрелка амперметра на делении 100, то сопротивление обмотки

$$R = \frac{120 \cdot 0{,}0025}{100 \cdot 0{,}05} = 0{,}06 \text{ Ом}.$$

Как известно, сопротивление проводов зависит от температуры, повышаясь с нагревом провода. Чтобы можно было сравнивать сопротивления отдельных обмоток, их приводят к одной и той же температуре 75° С по формуле

$$R_{75} = R[1 + \alpha(75 - t)] \text{ Ом},$$

где R—холодное сопротивление обмотки, Ом; t — температура, при которой производилось измерение, °С; a — температурный коэффициент (для меди он равен 0,004).

Если измерение производили при температуре 15° С, то горячее сопротивление

$$R_{75} = 0{,}06[1 + 0{,}004(75 - 15)] = 0{,}074 \text{ Ом}.$$

§ 78. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром для обмоток, уложенных в пазы, по отношению к корпусу и между отдельными фазами. Для низковольтных машин применяют мегомметр напряжением 500 В, для машин с номинальным напряжением выше 1000 В — мегомметры на 1000 или 2500 В (взависимости от напряжения машины).

По ГОСТ 183—66 сопротивление изоляции обмоток электрических машин по отношению к корпусу и между обмотками должно быть не ниже значения, получаемого по формуле

$$z = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}},$$

где U — номинальное напряжение обмотки, В; P — номинальная мощность кВ · А.

Сопротивление изоляции зависит от температуры и влажности обмотки. Если сопротивление мало, обмотку надо просушить.

Мегомметр представляет собой переносный прибор, состоящий из генератора постоянного тока и измерительной системы, заключенных в общем пластмассовом корпусе. На рис. 175, *а* показано устройство наиболее распространенного типа мегомметра М 1101. При вращении ручки 7 по часовой стрелке через две пары зубчатых шестерен *6* вра-

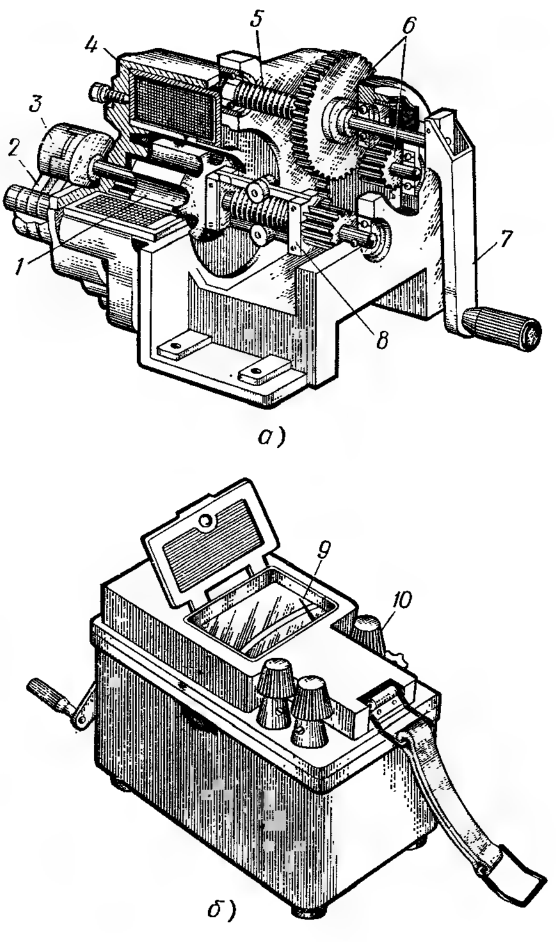


Рис. 175. Мегомметр:
а — устройство, *б* — внешний вид

щение передается якорю *1* генератора, представляющему собой восьмиполюсный постоянный магнит. Пружина *5* служит для расцепления механизма при вращении ручки против часовой стрелки. Вокруг магнита расположена цилиндрическая многовитковая катушка *4*, намотанная из тонкого провода. Катушка заключена в тонкостенный магнитопровод, наконечники которого загнуты внутрь нее. Через эти наконечники и магнитопровод замыкается магнитный поток, созда-

ваемый полюсами якоря. При вращении якоря в катушке создается переменное напряжение. Концы обмотки присоединены к пластинам *3* коллектора, выпрямляющего переменный ток.

По коллектору скользят щетки *2*, от которых ток передается рамкам измерителя через систему сопротивлений. С этими рамками на одной оси укреплена стрелка *9* (рис. 175, *б*), угол отклонения которой зависит от величины измеряемого сопротивления. Шкала прибора градуируется в мегомах и килоомах. Переключение пределов измерения производится поворотом круглой ручки *10* на крышке прибора.

Напряжение генератора влияет на показания прибора и зависит от скорости вращения якоря. Она поддерживается постоянной центробежным регулятором *8* (см. рис. 175, *а*). Если вращать ручку прибора со скоростью, большей номинальной, то грузики под действием центробежной силы расходятся и расцепляют якорь генератора от привода. Перед подсоединением проводов от мегомметра к объекту измерения необходимо снять напряжение с зажимов объекта и разрядить его от емкостного тока.

При измерении мегомметром сопротивления изоляции обмотки относительно корпуса провод от одной клеммы мегомметра присоединяют к выводу обмотки, а от другой клеммы — к корпусу машины или замыкают на землю. При измерении сопротивления изоляции между обмотками или между фазами клеммы присоединяют к выводам обмоток или фаз. Вращая рукоятку привода со скоростью 120 об/мин или с несколько большей скоростью, определяют по шкале величину сопротивления изоляции.

Соединительные провода должны иметь необходимую длину и хорошую изоляцию. Провода в оплетке применять не следует, так как они легко увлажняются. Желательно располагать провода на весу, чтобы исключить шунтирующее действие сопротивления изоляции соединительных проводов на показания прибора. Поверхность мегомметра должна быть сухой и чистой.

Перед измерением должна быть проверена исправность мегомметра. Для этого прибор устанавливают в горизонтальное положение, клеммы замыкают накоротко, вращают ручку привода генератора со скоростью 120 об/мин и проверяют совпадение стрелки с нулевой отметкой шкалы. Затем при разомкнутых клеммах вращают ручку привода генератора с той же скоростью. При этом стрелка должна установиться на отметку ∞ (бесконечность). Можно допустить несовпадение стрелки с этими крайними отметками шкалы до ± 1 мм, но такой мегомметр при первой возможности надо направить на проверку. Мегомметр надо содержать в чистоте, оберегать от толчков, ударов и падений, губительно действующих на чувствительный механизм измерителя.

§ 79. КОНТРОЛЬНЫЕ АППАРАТЫ СМ И ЕЛ

Для контроля обмоток на отсутствие замыканий, обрывов, плохих контактов и неправильных соединений долгое время пользовались различного рода электромагнитными устройствами, которые не давали

гарантии, что обнаружены все неисправности, и требовали очень много времени на контрольные операции. Контроль обмоток всех типов электрических машин был значительно усовершенствован после разработки во Всесоюзном электротехническом институте им. В. И. Ленина аппаратов СМ. Применение новых аппаратов позволило увеличить пропускную способность контрольных станций на заводах и повысить качество аппаратов.

Аппарат СМ питается от сети переменного тока и посылает в испытуемую обмотку волну импульса с амплитудой до 600 *в* при токе в

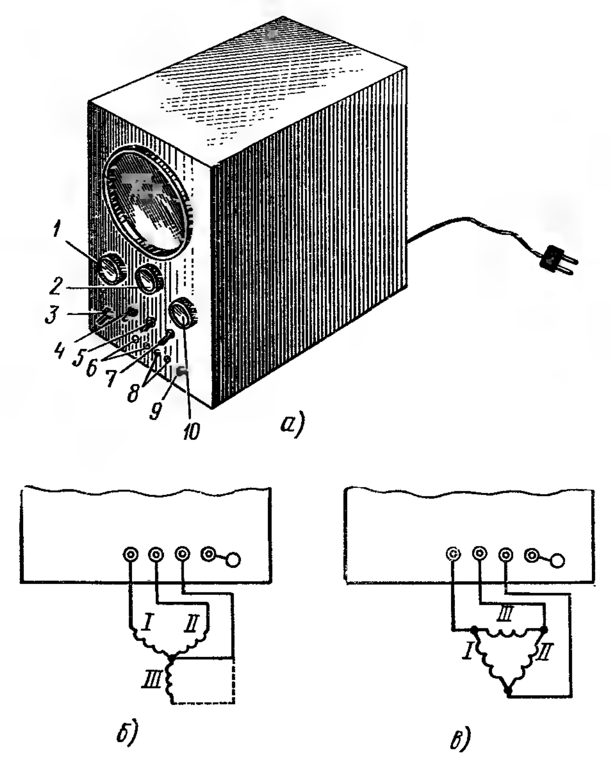


Рис. 176. Проверка трехфазных обмоток аппаратом СМ-1:

а — внешний вид аппарата, *б* — проверка обмотки, соединенной в звезду, *в* — проверка обмотки, соединенной в треугольник; *1, 2, 10* — ручки настройки, *3, 4, 5, 7* — выключатели, *6, 8* — гнезда, *9* — зажим заземления

несколько миллиампер. На экране электронно-лучевой трубки появляется свечение в виде яркой точки. При помощи двух вертикальных пластин луч развертывается в светящуюся полосу.

Две горизонтальные пластины, к которым присоединяют две ветви испытуемой обмотки, заставляют луч колебаться в вертикальном направлении, и на экране появляется кривая. При неисправности в одной из двух ветвей обмотки на экране появляется изображение двух

кривых. При разных неисправностях обмотки (междувитковое замыкание, обрыв, плохой контакт, неправильное соединение катушек, различные числа витков) появляются кривые разной формы, что при известном опыте производящего контроль позволяет быстро определить характер неисправности.

Внешний вид аппарата СМ-1 показан на рис. 176, *а*. В нижней части передней стенки расположены две пары гнезд для присоединения испытуемых обмоток. Гнезда *6* имеют обозначение «Импульсы», гнезда *8* — «Пластины явления». Над гнездами расположены выключатели, а между экраном и включателями — три ручки настройки. Ручкой *1*, имеющей надпись «Импульсный контур», регулируют напряжение, подаваемое на испытуемые обмотки; ручкой *2* с надписью «Фокус» регулируют резкость луча на экране; ручкой *10* с надписью «Емкость симметрии» можно устранить естественную несимметрию испытуемых обмоток.

Аппарат ЕЛ имеет меньшие размеры и массу, чем аппарат СМ-1. Это делает его удобным для переноски, но зато он имеет небольшие размеры экрана, позволяющего видеть изображение на расстоянии не более 1 м.

Аппараты СМ и ЕЛ имеют следующие преимущества перед ранее применявшимися громоздкими электромагнитными установками:

возможность быстро и точно обнаруживать неисправности как в процессе изготовления обмоток, так и после их укладки в пазы;

универсальность аппаратов, позволяющая применять их для контроля обмоток электрических машин постоянного и переменного тока мощностью от нескольких ватт до сотен киловатт;

небольшие массы и габариты, делающие аппараты (особенно ЕЛ) портативными;

возможность контролировать обмотки электрических машин без разборки их;

простота управления аппаратами, позволяющая работать на них рядовому контролеру или опытному обмотчику.

Напряжение на выходе аппарата может подниматься до 560 В, поэтому при работе с ним надо выполнять следующие требования техники безопасности: нельзя вскрывать аппарат, не отключив его от сети; до присоединения прибора к источнику питания его зажим *9* («Земля») необходимо надежно заземлить; нельзя браться за оголенные концы проводов, когда они находятся под напряжением.

§ 80. КОНТРОЛЬ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Перед началом контроля включают аппарат СМ в сеть, предварительно проверив соответствие напряжения сети указанному на футляре и в паспорте аппарата. Шнур питания сначала присоединяют к аппарату, а затем к сети. У аппаратов выпуска 1956 года и позднее на передней стенке футляра имеется выключатель *3* (см. рис. 176, *а*) с надписью «Сеть», которым включают и выключают питание аппарата. После включения надо подождать не менее 1 мин для прогрева ламп и труб-

ки. Преждевременное включение анодного напряжения может вывести лампы из строя.

После прогрева включают анодное напряжение, повернув вниз ручку выключателя *5*. Появившийся на экране луч наводят на фокус, поворачивая вправо или влево ручку *2* и добиваясь, чтобы на экране была резкая, а не расплывчатая линия. Концы двух фаз трехфазной обмотки соединяют с гнездами *6*, а среднюю точку — с одним из гнезд *8*. Длина проводов должна быть не более 4 м; сечения и марки их должны быть одинаковыми, чтобы не возникала естественная несимметрия.

После этого выключателем *7*, повернув ручку вниз, включают синхронный переключатель. Поворотом ручки *1* подают на испытуемые обмотки импульсное напряжение необходимой величины. При этом на экране вместо нулевой линии появляется одна кривая, если обмотки исправны, и две кривых — при наличии в них дефектов. В случае надобности поворотом ручки *10* устраняют естественную несимметрию испытуемых обмоток.

На рис. 176, *б* пунктиром показано, что при отсутствии в обмотке выведенной нулевой точки к гнезду *8* присоединяют конец третьей фазы, которая в данном случае служит проводом. На рис. 176, *в* показано присоединение к аппарату обмотки, соединенной в треугольник. Для проверки всех трех фаз *I*, *II* и *III* надо поочередно менять их местами.

При испытании обмоток с малым числом витков частота их собственных колебаний получается очень высокой и при сравнительно медленной развертке луча наблюдаемые на экране затухающие кривые имеют очень острые пики, поэтому при наличии в обмотках дефектов трудно заметить раздвоение кривых. В таких случаях следует ускорить развертку луча, для чего ручку выключателя *4* надо повернуть вниз (рис. 176, *а*).

Пока не снято импульсное напряжение, нельзя допускать замыкания проводов, подводимых к гнездам *6* аппарата, так как это может привести к перегоранию электронных ламп. При коротких перерывах в работе выключают анодное напряжение, подняв вверх ручку выключателя *5*, и выключают синхронный переключатель ручкой выключателя *7*. Аппарат можно не выключать, чтобы при возобновлении работы не тратить время на разогрев ламп. При длительных перерывах и после окончания работы аппарат надо выключить, чтобы продлить срок службы ламп. Выключают аппарат в таком порядке: выключают анодное напряжение выключателем *5* и синхронный переключатель выключателем *7*, отключают питание выключателем, с надписью «Сеть» и вынимают вилку из розетки осветительной сети.

Как видно на рис. 176, *б* и *в*, для контроля обмоток необходимо подключить к аппарату две одинаковые фазы, ветви или катушки. При наличии в одной из фаз короткозамкнутых витков на экране проявляется раздвоенная кривая, причем расхождение между кривыми небольшое. Если же в одной из фаз имеется обрыв, то вторая кривая будет совпадать с нулевой линией.

При обнаружении в фазе короткозамкнутых витков, необходимо установить, в каком пазу находятся эти витки. Для этого к аппаратам СМ прикладывают специальное приспособление, состоящее из двух

электромагнитов с намотанными на них катушками. Обмотка электромагнита *1* (рис. 177) состоит из 100 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,41 мм, обмотка электромагнита 2 — из 2000 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,1 мм. Сердечники магнитов П-образной формы набраны из трансформаторной стали. Электромагниты устанавливают над одним и тем же пазом.

Ввиду того что длины сердечников бывают разные, расстояния между электромагнитами можно изменять, передвигая их вдоль немагнитной планки, которой они скрепляются. Выводы обмоток электромагнита *1* и *2* подключают к гнездам *6* и *8* (см. рис. 176, *а*) аппарата СМ. Если в данном пазу нет короткозамкнутых витков, на экране аппарата появляется одна кривая, близкая к нулевой линии, если есть—две кривые, одна над нулевой линией, другая под ней.

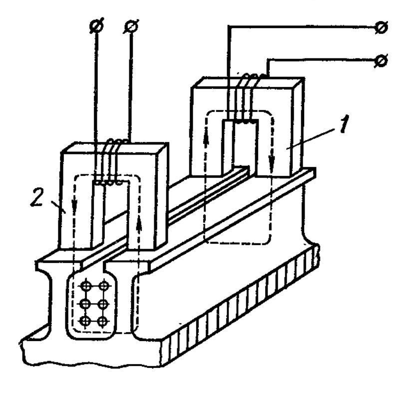


Рис. 177. Нахождение паза с дефектной обмоткой

Если в обмотке статора или ротора имеются параллельные ветви, то соединения между ними образуют естественные короткозамкнутые контуры. При нахождении пазов с короткозамкнутыми витками при помощи двух электромагнитов эти короткозамкнутые контуры улавливаются аппаратом. На экране появляются раздвоенные кривые, хотя в действительности короткозамкнутых витков в этих пазах нет. Раздвоенные кривые появляются с определенной последовательностью в зависимости от схемы обмотки, но амплитуды их значительно меньше, чем при действительно коротком замыкании витков. Поэтому можно определить пазы с замкнутыми витками. Кроме того, раздвоенные кривые появляются без всякой закономерности В условиях производства обмотки с параллельными ветвями проверяют на витковые замыкания до соединения параллельных ветвей при помощи двух электромагнитов.

При контроле трехфазных обмоток статора асинхронных двигателей наблюдались случаи, когда аппарат обнаруживал в обмотке некоторые катушки, намотанные из провода другого сечения или с неправильным числом витков.

Для обмоток из эмалированных проводов контроль аппаратом СМ при напряжении 560 В может считаться испытанием электрической прочности эмалевой витковой изоляции.

§ 81. КОНТРОЛЬ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

При контроле **обмоток якорей** необходимо выполнять правила включения и выключения аппаратов СМ, изложенных в § 80. Контроль обмотки якоря заключается в нахождении витковых замыканий, не-

правильных соединений выводов обмотки с коллектором, пробоя изоляции на корпус, катушек с неправильным числом витков и обрывов. Если присоединить две коллекторные пластины, расположенные на коллекторе под углом 90°, к гнездам *6* (см. рис. 176, *а*) аппарата СМ, а находящуюся посередине между ними пластину — к одному из гнезд *8*, то при петлевой обмотке получим схему, аналогичную трехфазной обмотке, соединенной в треугольник (см. рис. 176, *в*).

Так как во всех секциях, лежащих в одном пазу, одинаковое число витков, то для соединения с аппаратом можно взять любые три коллекторные пластины, охватывающие центральный угол 90°, т.е. одну четверть коллектора. При наличии в одной из ветвей обмотки витковых замыканий и других дефектов на экране появляются раздвоенные кривые. Для полного контроля всей петлевой обмотки якоря необходимо эту операцию повторить для каждой четверти коллектора, т. е. повторить прием четыре раза. В целях экономии времени можно петлевую обмотку проверить и в два приема, но для этого надо делить коллектор на три части и контакты от аппарата устанавливать на трех коллекторных пластинах, расположенных друг относительно друга под углом 120°. Тогда обмотка будет соединена в равносторонний треугольник, как и трехфазная обмотка при соединении в треугольник.

В обмотках с уравнительными соединениями, как и в трехфазных обмотках с параллельными ветвями, есть естественные замкнутые контуры, создающие раздвоение кривых на экране. Поэтому пазы с замкнутыми витками следует находить при помощи П-образных магнитов (рис. 176). Этими же магнитами пользуются для обмоток без уравнительных соединений для точного определения паза, в котором находятся короткозамкнутые витки.

Полюсные катушки надо проверять как после намотки, так и после установки их на роторе синхронной машины или в станине машины постоянного тока. Чтобы проверить катушки, их соединяют попарно аналогично двум фазам обмотки статора (см. рис. 176, *б*). Если на экране появятся две кривые вместо одной, значит одна из катушек имеет витковые замыкания, обрыв или неправильное число витков. Формы кривых при каждом из этих дефектов различны. Аппарат не может выявить лишь одинаковые дефекты в обеих катушках, но такой случай маловероятен. В многополюсных машинах для ускорения контроля в собранной станине или роторе можно сразу проверять все катушки, разделив их на две ветви, и применять попарный контроль только при обнаружении несимметрии ветвей.

При сборке шунтовых катушек с тонкими соединительными проводами часто наблюдается неправильная полярность отдельных полюсов. Аппаратом СМ это можно обнаружить на месте, не перевозя тяжелую станину на испытательную станцию.

У полюсных катушек может быть небольшая естественная несимметрия вследствие неодинаковой прессовки или пропитки, влияющих на емкость между витками. Аппарат может улавливать эту несимметрию, но раздвоение кривых при этом значительно меньше, чем при витковых замыканиях или обрывах.

§ 82. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МЕЖДУВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Наибольшее число случаев выхода из строя высоковольтных машин приходится на пробивание междувитковой изоляции обмоток. Однако до последнего времени она не подвергалась требуемым испытаниям ни до укладки в пазы, ни после укладки. Требования ГОСТ 183—66 сводятся к испытанию междувитковой изоляции напряжением, повышенным против номинального на 30%. Это испытание проводят в собранных двигателях путем повышения подводимого напряжения, в генераторах путем повышения скорости вращения. Между тем, как показали исследования, в процессе эксплуатации витковая изоляция обмотки подвергается значительно более высоким перенапряжениям.

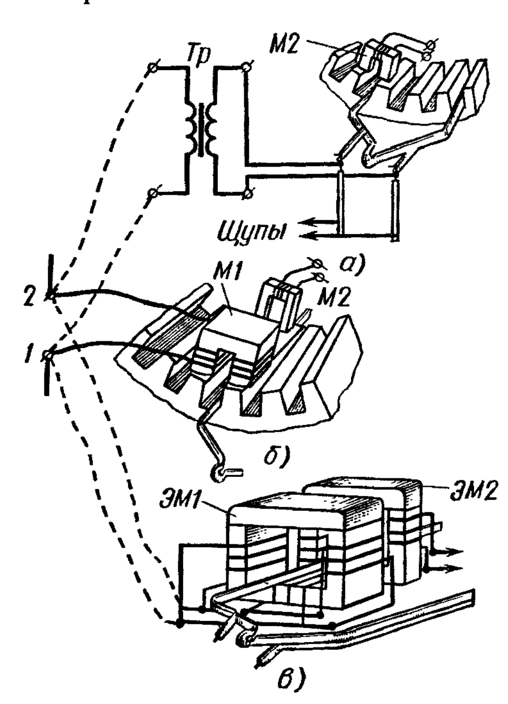


Рис. 178. Схема импульсной установки для испытания витковой изоляции:

а — после укладки изоляции в пазы, *б* — в процессе эксплуатации, *в* — до укладки в пазы

Существующие на некоторых заводах импульсные установки для испытания междувитковой изоляции до укладки катушек в пазы громоздки и не обеспечивают надежной работы машины в эксплуатации. В процессе укладки катушек в пазы часто витковая изоляция повреждается в тех местах, где она несколько ослаблена в процессе изготовления катушек. Эти повреждения выявляются при испытаниях собранной машины только в том случае, когда существует металлический контакт между проводами катушки. Если же изоляция только ослаблена, то это остается необнаруженным, машина поступает к потребителю с дефектной изоляцией и преждевременно выходит из строя. Чтобы избежать этого, надо проверять витковую изоляцию повышенным напряжением не только до укладки в пазы, но и после укладки, а также в процессе эксплуатации при очередных ревизиях машин.

На рис. 178 показана схема переносной высоковольтной импульсной установки для испытания витковой изоляции напряжением до 1500 В на виток. Она выполнена из отдельных блоков: пульта управления, трансформатора, импульсного генератора, П-образного электромагнита, сигнального устройства, амплитудного вольтметра, повышаю-

щего высоковольтного трансформатора, высоковольтных щупов и замкнутых электромагнитов.

При испытании витковой изоляции после укладки в пазы (рис. 178,*а*) конденсатор разряжается на первичную обмотку повышающего высоковольтного трансформатора. Импульсное испытательное напряжение подается на испытуемую катушку от вторичной обмотки трансформатора при помощи высоковольтных щупов. Контрольный электромагнит *М2* устанавливают над одним из двух пазов, в которых лежат стороны испытуемой катушки. Разделив измеренную величину импульсного напряжения на число витков, получим напряжение на один виток.

При испытании витковой изоляции в процессе эксплуатации (рис. 178, *б*) П-образные магниты *М1* и *М2* ставят над пазом, в котором лежит испытуемая обмотка. Импульсный ток, протекающий по обмотке электромагнита *М1*, создает импульсный магнитный поток, который замыкается через листы статора. Этот поток наводит в проводах обмотки импульсные междувитковые напряжения, которые регулируются автотрансформатором и измеряются амплитудным киловольтметром. Для подключения последнего прокалывают изоляцию между катушками острыми щупами. При отсутствии пробоя изоляции между витками обмотки стрелка милливольтметра сигнального устройства, подключенного к обмотке электромагнита *М2*, не отклонится.

При испытании витковой изоляции катушки до укладки в пазы (рис. 178, *в*) конденсатор разряжается на обмотку электромагнита *ЭМ1* и в нем создается импульсный поток, который индуктирует напряжение в катушках, вложенных внутрь электромагнитов. При отсутствии пробоя витковой изоляции стрелка милливольтметра находится вблизи нуля из-за наличия емкостных токов.

§ 83. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В каждой обмотке и готовой машине испытывают электрическую прочность корпусной изоляции. Для каждого вида обмоток существуют отдельные нормы испытаний. Эти нормы преследуют основную цель — не допустить укладку в пазы обмотки с ослабленной или поврежденной изоляцией. Обмотку электрической машины испытывают не менее трех, а иногда и пяти раз.

Чтобы не перегружать изоляцию обмотки при повторных испытаниях, нормы предусматривают снижение последующих испытательных напряжений по сравнению с предыдущими.

При испытании на пробой изоляции отдельных катушек необходимо создать проводящий слой на наружной поверхности изоляции. Этот слой, будучи соединен с землей, создает условия, имитирующие условия работы изоляции в машине. При крупносерийном производстве, когда через испытательную станцию проходит несколько сотен обмоточных изделий, этот вопрос имеет существенное значение. Наиболее распространенный способ состоит в том, что на поверхность изоляции накладывают тонкую фольгу, которую при-

крепляют к катушкам полотняной лентой. Этот способ хотя и прост, но трудоемок и связан с большим расходом материалов. Поэтому применяют стальные фрезерованные коробки, в которые вкладывают пазовые части катушек. Коробки универсальной конструкции с раздвижными стенками позволяют испытывать в них катушки с различными размерами сечения и длинами пазовой части. Для стержней роторных и якорных обмоток применяют многогнездные металлические плиты.

Оборудованный высоковольтный стенд для испытания корпусной изоляции имеет специальное место, на которое укладывают катушки или стержни. Оно состоит из металлических вертикальных стоек и горизонтальных полок, имеющих хорошее заземление. Все выводы соединяют между собой тонкой медной проволокой и конец проволоки присоединяют к незаземленному полюсу испытательного трансформатора. Продолжительность испытания не должна быть более 1 мин.

При производстве испытаний обслуживающий персонал должен строго соблюдать правила техники безопасности для работы с высоковольтными установками. Надо периодически проверять электрическую прочность диэлектрических ковриков, галош, перчаток и штанг.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды контроля и испытаний обмоток?
2. Какими приборами измеряют сопротивление обмоток?
3. Как подключают испытуемые обмотки к аппарату СМ?
4. Каким испытаниям подвергают обмотки машин переменного тока?
5. В чем заключается контроль обмоток якорей?
6. В какой последовательности чередуются полярности полюсов?
7. Расскажите о порядке испытаний витковой и корпусной изоляций.

ГЛАВА XII. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ

§ 84. КАТУШКИ ИЗ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Катушками полюсов называются обмотки возбуждения. Их наматывают на станках, изолируют и пропитывают, а в процессе сборки машин надевают на сердечники полюсов. По назначению их разделяют на катушки главных и добавочных полюсов машин постоянного тока и катушки полюсов синхронных машин. Первые — неподвижные, а вторые устанавливают на вращающемся роторе. Действие центробежных сил на вращающуюся катушку предъявляет определенные требования к ее конструкции и исполнению.

Основное технологическое различие катушек определяется формой и размерами провода, из которого они намотаны. Для полюсных катушек применяют изолированные провода круглого (до 7 мм^2) и прямоугольного (до 16 мм^2) сечения. При сечении провода более 20 мм^2 катушки наматывают из голых медных или алюминиевых шин. Катушки из изолированного провода и из шин резко отличаются по технологии намотки и изолировки.

В катушках из изолированного провода межвитковой изоляцией служит изоляция самого провода. Однако в отдельных местах, как, например, в переходах между слоями, ее усиливают путем обматывания лентами или вкладывания прокладок из листовых изоляционных материалов.

Катушки из голых шин могут быть намотаны плашмя или на ребро, а межвитковую изоляцию выполняют в процессе их изготовления. В отличие от шинных катушек обмотки якоря, у которых каждый провод обматывают лентой по всему контуру витка, полюсные катушки из голых шин не такие трудоемкие. В катушках, намотанных на ребро, изоляция между витками имеет вид прокладок. При намотке плашмя междувитковую изоляцию наматывают на станке в процессе намотки самой катушки, поэтому не требуется затраты дополнительного времени.

Для намотки катушек из тонкого изолированного провода применяют легкие быстроходные станки со скоростью вращения до 5000 об/мин. Их всегда снабжают счетчиками оборотов, по которым отсчитывается число витков. Сделав требуемое число оборотов, а также при обрыве провода станок автоматически останавливается. Станки оборудуют автоматическими приспособлениями, вкладывающими бумажные прокладки между слоями катушки. Все быстроходные станки имеют механизм автоматической раскладки, который укладывает провода

правильными рядами. Эти приспособления значительно облегчают работу и позволяют осуществить одновременное обслуживание одним рабочим несколько станков.

На рис. 179 показана кинематическая схема полуавтоматического станка для рядовой многослойной намотки катушек из круглого провода диаметром 0,07—0,6 мм. Шпиндель *15* снабжен устройством регулировки скоростей в пределах 850—4900 об/мин. Станок имеет два сблокированных движения: вращение шпинделя и периодическое воз-

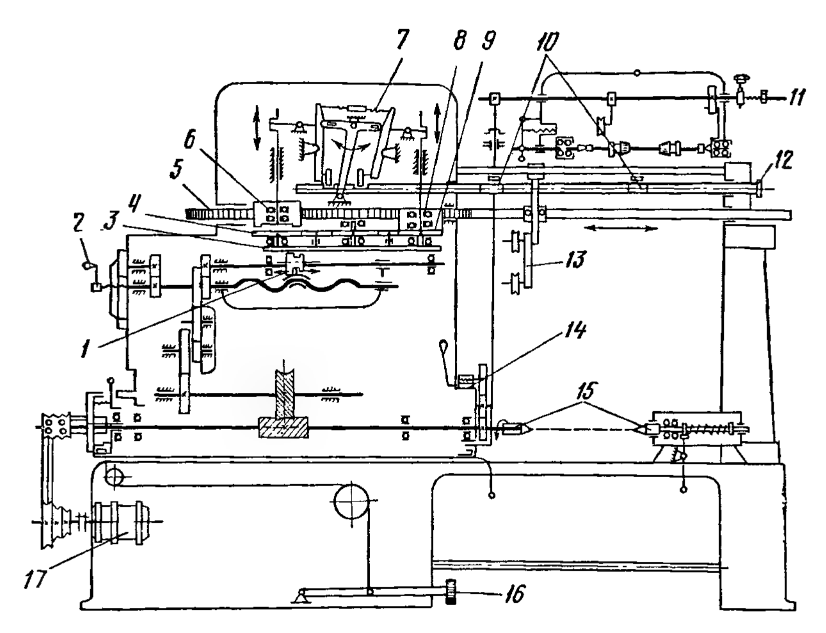


Рис. 179. Кинематическая схема станка для намотки катушек

вратно-поступательное движение механизма раскладки. Привод станка осуществляется от электродвигателя *17*. Механизм раскладки *13* работает от вала шпинделя через зубчатые передачи и фрикционную передачу, состоящую из диска *3* и ролика *1*, положение которого относительно диска можно изменять, вращая рукоятку *2*.

Зубчатые колеса *4* и *9* вращаются в разные стороны. Соосные шестерни *6* и *8* поочередно входят в зацепление с ними и сообщают рейке *5* механизма раскладки возвратно-поступательное движение. Переключение шестерен производится упорами *10*, установленными на штанге *12*, через систему рычагов механизма реверса *7*. Упоры устанавливают в соответствии с длиной наматываемой катушки, а шаг раскладки определяется положением ролика относительно диска. Включение станка производится педалью *16*. Станок снабжен механизмами натяжения *11* и счетчиком оборотов *14*.

В старых типах машин катушки полюсов из изолированного провода наматывали на каркасы, представляющие собой коробки из листо-

вой стали, склепанные или сваренные. Каркас надежно защищал витки катушки от повреждения сердечником полюса, но затруднял пропитку катушки и не позволял осуществить непрерывную изоляцию ее наружной поверхности. Поэтому в современных машинах катушки наматывают на шаблоны из твердых пород дерева или алюминия.

Для намотки многовитковых полюсных катушек применяют почти исключительно круглые провода с эмалевой изоляцией. Катушка после намотки должна быть жесткой, и витки ее не должны рассыпаться. Между тем пропитка катушек из эмалированных проводов часто сопровождается нарушением эмалевой изоляции и занимает много времени. Наиболее прогрессивным является провод с особой эмалевой изоляцией, которая спекается при нагреве до 130—160° С в течение 15—20 мин. Этот провод не требует пропитки. Для намотки таких катушек нужны намоточные станки, обеспечивающие плотную рядовую намотку с корректировкой допусков по диаметру провода и толщине его изоляции.

При намотке катушек на шаблон прямоугольного сечения плотность прилегания витков в разных точках его периметра неодинакова. Наибольшая плотность будет в углах шаблона, а наименьшая — в середине боковых сторон катушки, где провода стремятся выпучиваться. Поэтому при расчете обмоточного пространства шаблона необходимо учитывать коэффициент распушения.

При сплошной намотке катушек из изолированного провода без соблюдения правильных рядов площадь поперечного сечения F катушки определяется по формуле

$$F = n_к d_{из}^2 k_1,$$

где $n_к$ — число витков в катушке; $d_{из}$ — диаметр изолированного провода; k_1 — коэффициент распушения (для катушек из эмалированного провода его берут 1,1, из провода с волокнистой изоляцией — 1,05).

При рядовой намотке толщина b и высота h сечения катушки равны:

$$b = n_1 d_{из} k_2;$$

$$h = n_2 d_{из} k_2,$$

где n_1 — число слоев катушки; n_2 — число проводов в слое; $d_{из}$ — диаметр круглого провода или размер стороны прямоугольного изолированного провода, мм; k_2 — коэффициент распушения (для круглого провода его берут 1,04, для прямоугольного — 1,07).

В катушках из изолированного провода круглого сечения вывод от начала намотки на наружную поверхность катушки выполняют из медной ленты, которую припаивают к первому витку и огибают им сечение катушки. Под медную ленту подкладывают изоляцию из электрокартона и лакоткани. При большом сечении провода медную ленту приходится выбирать очень широкой для получения необходимого сечения. Толщину ленты обычно берут не более 1 мм, так как при большей толщине ленту трудно выгибать и она занимает много места по высоте катушки.

В катушках из изолированного провода прямоугольного сечения можно обойтись без вывода из медной ленты, если использовать для намотки катушки особый прием, показанный на рис. 180, *а*. Сначала отматывают от бухты обмоточной меди провод длиной, равной развернутой длине витков одного горизонтального ряда катушки. Отмотанный провод свертывают в спираль и привязывают к боковой стороне намоточного шаблона. Затем заводят провод в намоточный шаблон и начинают наматывать витки в последовательности, обозначенной на рисунке цифрами *1—10*. При этом один горизонтальный ряд катушки остается не заполненным проводами. Чтобы витки не попадали в это пространство, к боковой стороне шаблона прикрепляют дистанционные прокладки.

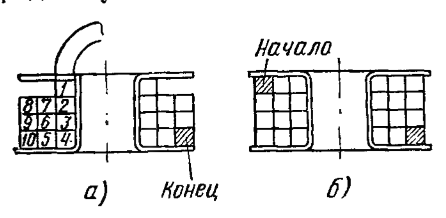


Рис. 180. Схема намотки полюсной катушки:

а — последовательность намотки, *б* — готовая катушка

После этого отрезают провод от бухты, разматывают спираль с привязанным к шаблону проводом и при вращении шаблона в противоположную сторону доматывают этим проводом витки в оставшееся свободное место, вынув предварительно дистанционные прокладки (рис. 180, *б*). Таким образом, оба выводных витка оказываются на поверхности катушки и припаивать вывод из медной ленты не требуется. Отсутствие места пайки внутри катушки повышает ее надежность в работе.

Нельзя считать число витков катушки по числу сечений проводов в разрезе, потому что слои катушки представляют собой не кольцевые замкнутые витки, а спирали правого и левого хода, чередующиеся в соседних слоях. Сделав один виток вокруг шаблона, мы занимаем два сечения провода в разрезе катушки. Следовательно, в каждом слое одно сечение провода является лишним, не образующим витка. Таким образом, действительное число витков меньше, чем видно на разрезе катушки, на число слоев. Так, например, катушка, показанная на рис. 180, имеет не 12, а только 9 витков. Это обстоятельство необходимо учитывать при конструировании катушек и намоточных шаблонов.

Полюсные катушки после намотки обматывают лентами по всему контуру. В низковольтных машинах это делают для скрепления витков, а в машинах повышенного напряжения и с противосыростной изоляцией — для создания непрерывного слоя изоляции на поверхности катушек. Исключением являются шинные катушки, намотанные на ребро, которые обычно устанавливают на полюсах без наружной изоляции.

Изолировка катушек — очень трудоемкая операция, особенно в тех случаях, когда катушку надо изолировать несколькими слоями ленты. В процессе изолировки ролик с лентой надо проводить через внутреннее окно катушки, а для этого приходится при каждом обороте ленты два раза перекладывать ролик из одной руки в другую. Особую трудность представляет изолировка катушек добавочных полюсов, так как

рука изолировщицы не проходит в узкое окно катушки и приходится пользоваться проволочными крючками.

Производительность труда при изолировке повысилась при внедрении изолировочных станков (рис. 181). Сначала эти станки применялись на заводах автотракторного электрооборудования для изоляции небольших катушек, а затем и на других предприятиях для изолировки катушек машин средней мощности. Катушку *3* кладут на столик *1*, включают станок и поворачивают ее поочередно всеми четырьмя сторонами. При работе станка разрезное кольцо *2* вращается вокруг стороны катушки, наматывая на нее ленту.

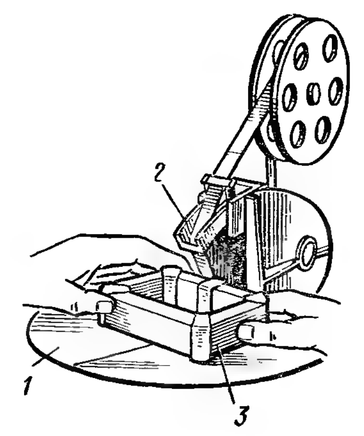


Рис. 181. Изолировочный станок для полюсных катушек

На рис. 182, *а* изображена схема работы станка. Лента *1* с ролика *7* проходит через ролики *5*, цилиндрический нож *6* и попадает на разрезное кольцо *2* станка, на поверхности которого расположены ролики *4*. Конец ленты закрепляют на катушке *3*, которую вводят через прорезь кольца. При вращении кольца лента наматывается одновременно на его обод и изолируемую катушку. После того как на кольце соберется необходимое количество ленты для изолировки катушки, ленту перерезают поворотом цилиндрического ножа (рис. 182, *б*) и продолжают изолировку катушки. В станках для изолировки тяжелых катушек в стол станка врезают ролики, выступающие над его поверхностью. Ролики облегчают передвижение катушки по столу станка.

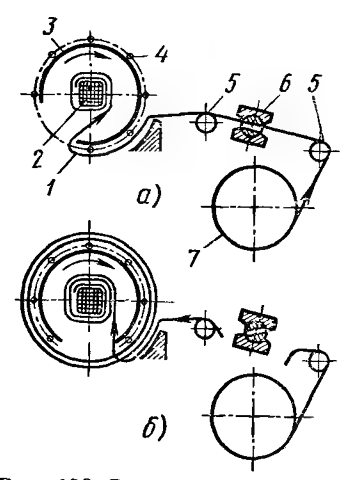


Рис. 182. Схема работы изолировочного станка (*а*) и перерезание ленты (*б*)

Полюсные катушки крупных машин постоянного тока изолируют вручную. Раньше для изолировки катушку ставили на четыре жесткие подставки на стол изолировочного верстака. В процессе изолировки подставки приходилось несколько раз передвигать. Это требовало затраты больших усилий, так как масса катушки часто превышала 100 кг.

Теперь применяют механическую стойку для изолировки катушек (рис. 183), которая освобождает от тяжелого труда и повышает производительность изолировочных работ. На плите *1* укреплены стойка *15* для катушек и поворотный кран с лебедкой. Катушку *13* при помощи крана кладут на четыре лапы *14*, которые шарнирно соединены с по-

воротной звездочкой. Стойки лап опираются на внутреннюю поверхность обода чаши *16*. В одном месте обода сделана прорезь, в которую проваливается поочередно одна из лап, освобождая место для изолировки этого участка катушки. В процессе изолировки звездочку поворачивают на шарикоподшипниках. При переходе к следующему участку лапу снова поднимают и она опирается на обод чаши.

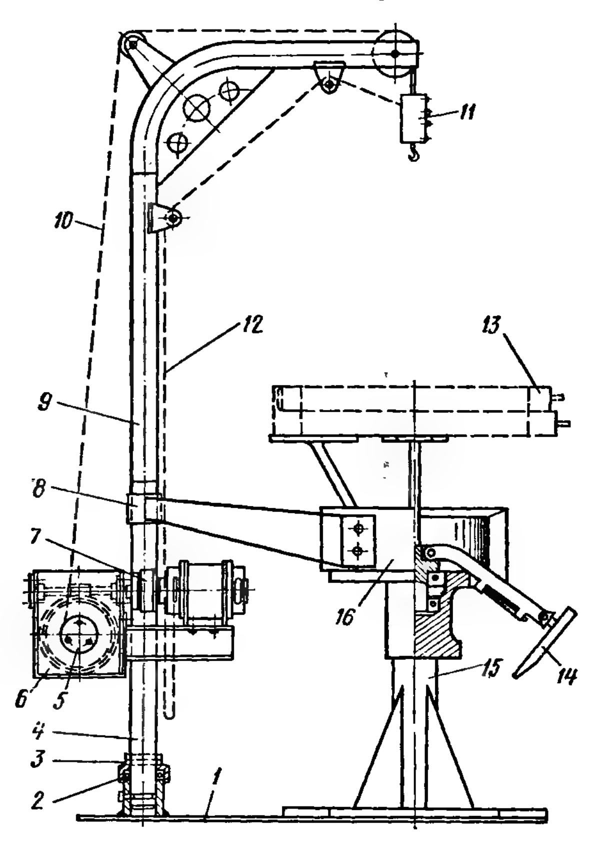


Рис. 183. Механизированная стойка для изолировки катушек

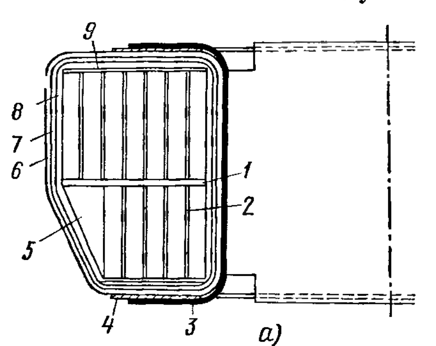
Балка крана состоит из трех частей: вала *4*, прямой трубы *9* и изогнутой трубы, сваренной с прямой. В месте изгиба трубы вварена укосина для повышения ее жесткости. Подъем и снятие катушек со станка производится грейфером, подвешенным к крюку крана. При натяжении троса *10* он зажимает катушку, а при ослаблении натяжения освобождает ее. Крюк крана через грузовой трос, проходящий через два ролика и закрепленный на барабане *5* лебедки, управляется пускателем *11*, который включают при помощи шнура *12*.

Червячный редуктор *6* состоит из червячного винта и шестерни. Он приводится во вращение от электродвигателя, соединенного с осью

червяка муфтой 7. Нижний конец крана через кольцо 3 опирается на шарикоподшипник 2. Второй опорой служат втулка 8, скрепленная с чашей двумя планками.

§ 85. ШИННЫЕ КАТУШКИ, НАМОТАННЫЕ ПЛАШМЯ

Шинные катушки, намотанные плашмя, применяют на главных полюсах машин постоянного тока с последовательным возбуждением. Такая катушка (рис. 184, *а*) имеет ступенчатую форму и состоит из двух слоев шин, расположенных один над другим. В качестве изоляции между витками в каждом слое служит асбестовая бумага 2, которая в процессе намотки катушки сматывается с ролика, установленного под шаблоном. Изоляцией между слоями



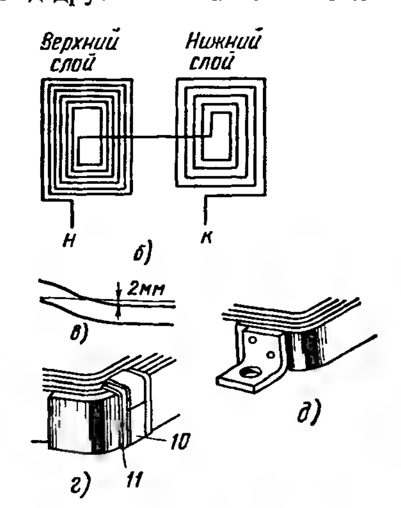


Рис. 184. Шинная катушка, намотанная плашмя:
а — разрез катушки, *б* — схема намотки, *в* — перегиб шины, *г* — крепление последнего витка, *д* — выводная пластина

служит прокладка 1, состоящая из твердого миканита, оклеенного с обеих сторон асбестовой бумагой. Изоляция катушки относительно корпуса состоит из миканитовых фланцев 9, асбестовой ленты 8, микаленты 7 и киперной ленты 6.

Угловые пустоты, образуемые вследствие разных чисел витков в верхнем и нижнем слоях, заполняют асбестовой замазкой 5. Для предохранения изоляции катушки от протирания о полюс служит каркас 3 из тонкой листовой стали, который вставляют в отверстие катушки перед надеванием ее на полюс; его края отгибают на катушку. Для защиты изоляции от проколов служат фланцы 4 из картона.

Для определения толщины катушки надо сумму толщин медных шин и изоляционных материалов в слое умножить на коэффициент распушения $k_з$, который выбирают в зависимости от толщины шины. При толщине 0,3—1,16 мм $k_з = 1{,}2$; при толщине 1,25—1,59 мм $k_з = 1{,}1$ и при толщине 2,1 мм $k_з = 1{,}06$.

Чтобы определить число сечений шин в разрезе катушки, необходимо построить схему намотки верхнего и нижнего слоев. Как видно из схемы (рис. 184, *б*), число сечений на правой и левой сторонах неодинаково и поэтому катушка получается несимметричной относительно оси. Если посчитать по схеме число фактических витков, то оно оказывается равным 11, а не 12, как это получается при суммировании сечений шин на чертеже разреза катушки (рис. 184, *а*). На схеме намотки (рис. 184, *б*) видно, что выводы расположены в наружных витках катушки. Очевидно, что это будет только при четном числе слоев, поэтому не следует применять катушек с нечетным числом слоев.

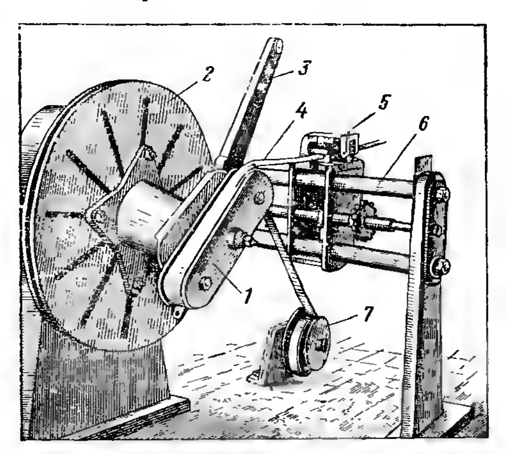


Рис. 185. Станок для намотки шинных катушек

Для намотки шинных катушек применяют мощные тихоходные намоточные станки. На боковых сторонах намоточного шаблона делают углубления для того, чтобы путем подбивания шин устранять их выпучивание. На рис. 185 показан станок для намотки шинных катушек. Шаблон *1* укрепляют на стойке, привинченной болтами к планшайбе *2* станка. Медная шина *4* идет со стойки и проходит через зажимное приспособление *5*, укрепленное на суппорте станка. Под суппортом помещается ролик *7* с асбестовой бумагой, которая наматывается на шаблон вместе с медной шиной и создает изоляцию между витками.

При намотке шинных катушек суппорт остается неподвижным. Его используют при намотке на станке катушек из прямоугольного изолированного провода. На этом же станке можно наматывать небольшие катушки на ребро. Для этого станок снабжен рычагом *3*, который может вращаться вокруг вала *6* и направлять шину при загибе ее на углах шаблона. Станок оборудован тормозом, и при остановке планшайбы медная шина остается под натяжением. Включение станка производится ножной педалью.

Для изготовления катушки, изображенной на рис. 184, *а*, необходимо:

перегнуть шину на ребро в месте перехода (рис. 184, *в*) на расстоянии 200—300 мм от конца;

намотать верхний слой катушки, прокладывая изоляцию между витками;

скрепить последний поток с предпоследним скобочкой *10* из жести, проложив изоляцию *11* (рис. 184, *г*), запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты;

перевернуть шаблон другой стороной;

вставить изоляционную прокладку между слоями;

приварить при помощи переносного сварочного аппарата конец шины к месту перегиба;

намотать второй слой катушки, прокладывая изоляцию между витками;

скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести, запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты;

испытать катушку на межвитковые замыкания;

изготовить и припаять выводные патроны (рис. 184, *д*);

заполнить угловые пустоты асбестовой замазкой *5* (см. рис. 184, *а*), положить миканитовые фланцы *9* сверху и снизу катушки, изолировать катушку асбестовой лентой *8* и поверх нее временной полотняной ленты встык;

компаундировать катушку первый раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой;

спрессовать катушку в горячем состоянии;

испытать катушку на межвитковые замыкания;

изолировать катушку микалентой *7*, киперной лентой *6* и временной полотняной лентой;

компаундировать катушку второй раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой;

покрыть поверхность катушки покровным лаком при помощи кисти;

спрессовать катушку в горячем состоянии;

очистить выводные патроны от битумной массы и промыть их бензином;

нанести обозначения выводов катушек красной краской;

испытать катушку на межвитковые замыкания и проверить ее размеры по чертежу.

§ 86. ШИННЫЕ КАТУШКИ, НАМОТАННЫЕ НА РЕБРО

Шинные катушки, намотанные на ребро, применяют для дополнительных полюсов машин постоянного тока и синхронных генераторах с явно выраженными полюсами. Эти катушки более плотны и компактны, чем другие типы полюсных катушек. В синхронных генераторах это особенно важно, потому что центробежная сила передается виткам катушки через большую опорную плоскость. Это исключает возможность межвитковых замыканий при вращении ротора. В изготовлении эти катушки удобны тем, что процесс намотки можно вести, не считая витков, так как потом спираль можно разрезать на отдельные катушки. Это значительно повышает коэффициент использования намоточного станка. Катушки, намотанные на ребро,— однослойные, что способствует хорошему и равномерному охлаждению всех витков.

Катушка синхронного генератора показана на рис. 186. Изоляцией от корпуса являются два фланца *1* из текстолита и несколько слоев микофолия *2*, которым обернут сердечник полюса. Наружная поверхность катушки открыта для лучшего охлаждения. Чтобы увели-

чить поверхность охлаждения, наружной стороне *3* витков придали форму треугольника. Изоляция *4* между витками представляет собой прокладки из асбестовой бумаги, пропитанной в битуме.

Катушки, намотанные на ребро, имеют два исполнения: двухрадиусные с двумя закруглениями под углом 180° и четырехрадиусные с четырьмя закруглениями под углом 90°. Первые применяют для дополнительных полюсов машин постоянного тока и синхронных явнополюсных генераторов, вторые — для главных полюсов тяговых двигателей постоянного тока. Чтобы намотать четырехрадиусные катушки, требуется намоточный станок более сложной конструкции. Такая

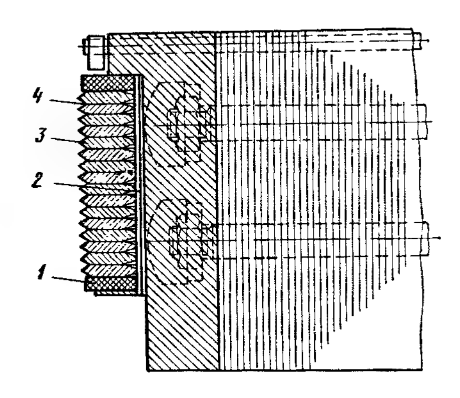


Рис. 186. Катушка синхронного генератора

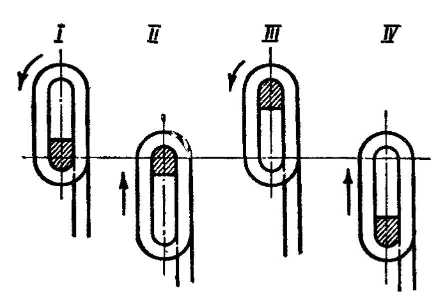


Рис. 187. Схема намотки катушки на ребро:
I, II, III, IV — последовательность процесса

намотка трудно осуществима при загибе шин с малым радиусом закругления.

Технология намотки катушек на ребро сложнее, чем намотки плашмя. Чтобы согнуть шину на ребро, необходимо в несколько раз большее усилие, чем для изгиба ее плашмя, поэтому требуется бóльшая мощность станков. При изгибе на ребро внутренняя сторона закругления шины утолщается. Эти утолщения снимают опиливанием или фрезерованием каждого закругления с обеих сторон.

Для направления шины служат специальные направляющие, расположенные в непосредственной близости от места ее загиба. При намотке на шаблон шина должна занимать положение, касательное к радиусу закругления, а шаблон должен совершать вращательные и поступательные движения.

При намотке одного витка (рис. 187) намоточный шаблон совершает следующие движения (на чертеже одна сторона шаблона заштрихована):

шаблон начинает поворачиваться вокруг центра заштрихованной стороны на 180° и приходит в положение *II*;

шаблон движется поступательно до тех пор, пока незаштрихованная сторона не придет в положение заштрихованной (*III*);

шаблон поворачивается на 180° (положение *IV*);

шаблон совершает поступательное движение и приходит в исходное положение *I*.

На рис. 188, *а* показана конструкция намоточного станка завода «Электросила» для намотки на ребро катушек крупных электрических машин. На планшайбе станка на тумбах *7* установлена плита *4*, на которой смонтированы рабочая оснастка и отдельные приспособления. В центре планшайбы закреплена шестерня *2*. В зацеплении с нею находится фасонная шестерня *8*, состоящая из двух полуокружностей и двух реек. Она имеет продольный паз, которым надета на цапфу, закрепленную в плите. Во время работы станка шестерня *8* совершает попеременно вращательные движения на 180° и прямолинейные движения на длину реек, скользя своим основанием по плите. На шестерне *8* укреплена оправка *9*, на которую наматываются витки катушки. Конец шины захватывается зажимом *6*, укрепленным на оправке. Медная шина *12* сматывается с бухты, пропускается через натяжное устройство *10* и затем проходит через планку *1* хобота. Хобот служит для прижима шины к оправке во время намотки.

Под действием груза *19* (рис. 188, *б*), который подвешен на тросе, перекинутом через блок, штанга *16* с головкой *15* хобота имеет постоянное натяжение. Натяжение передается через пару цилиндрических шестерен *18* и реечное зацепление *17*. В головке хобота укреплена сменная закаленная планка *13*, охватывающая медную шину с двух сторон. Шина все время прижимается к оправке под действием усилия, зависящего от массы груза. В вертикальном направлении шина прижимается гайкой *14*.

Чтобы шина не выпучивалась после образования загиба, применены фиксаторы *3* (рис. 188, *а*). Зуб *21* фиксатора (рис. 188, *в*) врезан в основание оправки, и рабочая часть его выступает над ней. При движении оправки шина надавит на фиксатор и он опустится. Пройдя под головкой хобота и достигнув паза в головке, фиксатор выталкивается пружиной *20* и не позволяет шине отойти от оправки.

Для поднятия намотанного витка, который должен освободить место на оправке для следующего витка, служит клин *5* (рис. 188, *а*). При прямолинейном движении оправки клин попадает под виток и отделяет его от основания оправки. При повороте оправки виток поднимается на толщину клина. В дальнейшем виток смещается головкой хобота вверх по оправке и под действием следующих витков переходит на колонки *11*. Зажим *6* необходим только в начале намотки, так как в дальнейшем шина удерживается на оправке при помощи охватывающих ее витков.

Намотка катушки производится в такой последовательности. Наматывают число витков, превышающее число витков катушки на два-три. Затем перерезают шину и снимают намотанную катушку с требуемым числом витков. Оставшиеся на оправке два-три витка удерживают конец шины при намотке следующей катушки. По окончании бухты меди к концу шины приваривают начало шины от следующей бухты и продолжают намотку. Чтобы избежать задиров меди при прохождении ее под планкой головки хобота, на ней устанавливают мас-

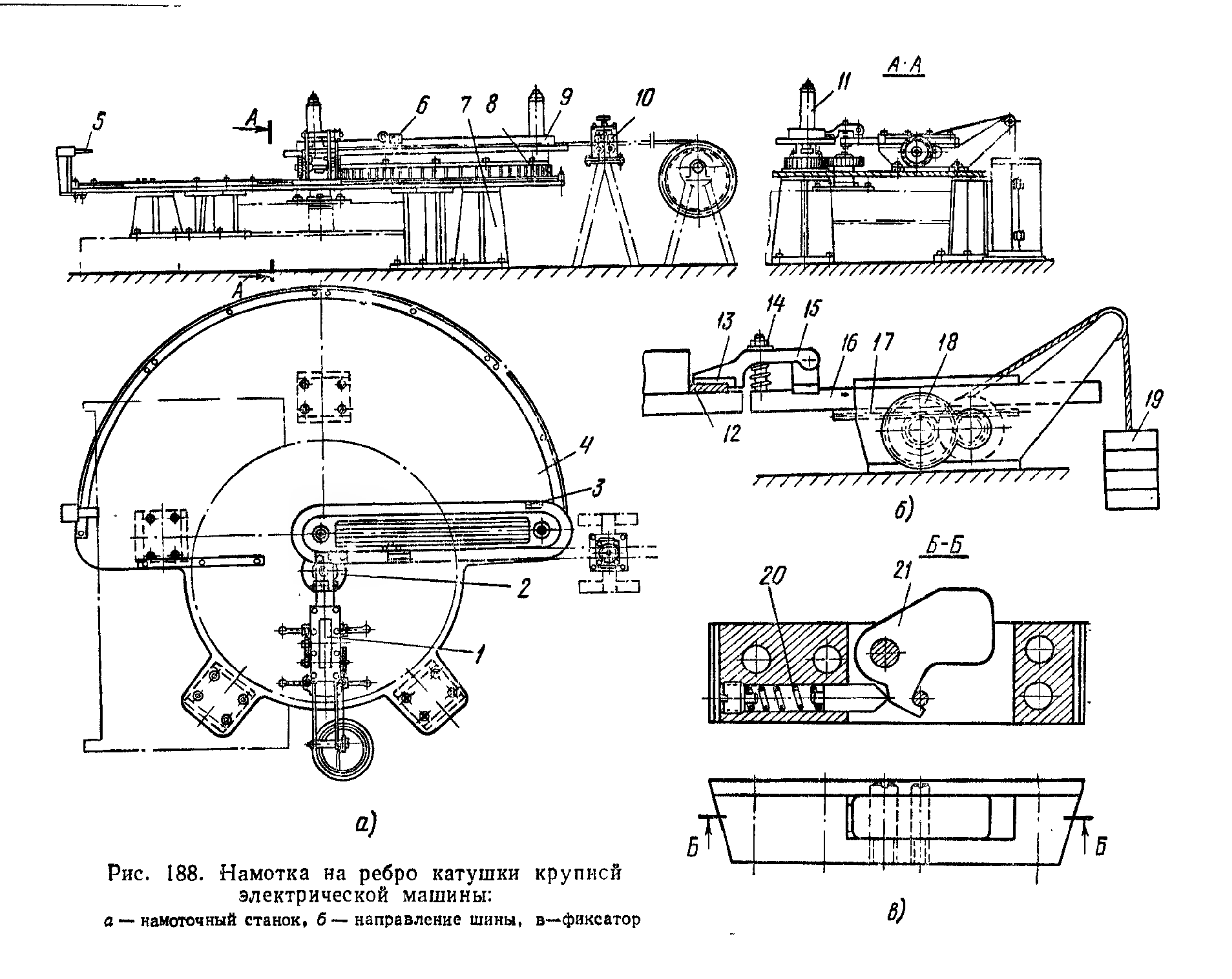


Рис. 188. Намотка на ребро катушки крупной электрической машины:
а — намоточный станок, *б* — направление шины, в—фиксатор

ленку с фитильной смазкой шины машинным маслом. Поверхность плиты смазывают консистентной смазкой.

На станке можно наматывать катушки с разными размерами. Для этого в каждом случае надо заменять фасонную шестерню и оправку, а также прижимную планку головки хобота в соответствии с размерами сечения шины. Управление станком кнопочное и осуществляется одним рабочим.

§ 87. КАТУШКИ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Катушки гидрогенераторов имеют большие размеры и массу. Ввиду того, что масса катушки превышает массу бухты меди, намотку производят отдельными секциями, из которых затем составляют катушку. Намотанные на станке (см. рис. 188) секции кладут на стальную плиту и ударами свинцовой кувалды выравнивают кривизну плоскостей витков секции. Утолщения витков в местах загибов снимают на вертикально-фрезерном станке торцовой фрезой. Фрезеровку начинают с с нижнего витка катушки, закрепляя его планками с болтами, и производят последовательно у всех витков с одной стороны катушки, а затем со второй. Во время фрезеровки верхние витки подвешивают на крюках или ставят под них прокладки. По окончании фрезеровки секцию кладут на стол и опиливают заусенцы, образовавшиеся в процессе фрезеровки.

После этого катушку отжигают, для чего секции помещают в электропечь и нагревают равномерно до 500—600°С. Катушки выгружают из печи и быстро охлаждают в воде или на воздухе. После отжига допускается наличие на меди тонкой неотслаивающейся окалины. Рихтуют секции на оправке *4* (рис. 189), ширина которой равна ширине катушки, а длина регулируется винтом *3*. Секцию *2* надевают на оправку.

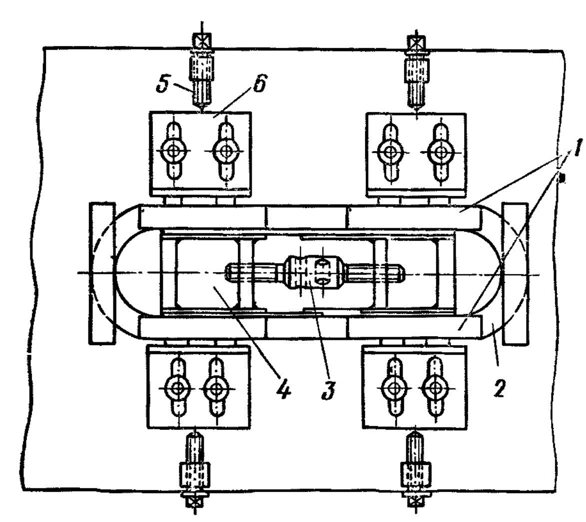


Рис. 189. Рихтовка катушки на оправке

На верхнюю часть секции кладут стальные планки 1 и ударами стальной кувалды через фибровую пластину выравнивают витки. Наружную поверхность секций обжимают угольниками 6 при помощи болтов 5.

По окончании рихтовки производят соединение намотанных секций, называемое комплектовкой катушки. Катушки крупных гидрогенераторов составляют из шести-восьми секций. Секции для соединения подбирают согласно выбитой на них нумерации. Производят разметку секций, обрубают концы шин зубилом под углом 45°, опиливают напильником и сваривают. Наплывы, образовавшиеся при сварке, обрубают пневматическим зубилом и опиливают.

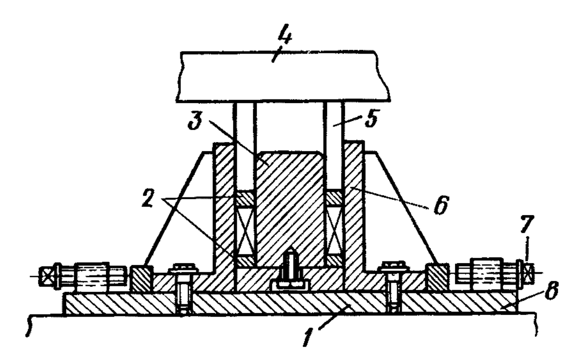


Рис. 190. Прессовка катушки на гидравлическом прессе

На концах первого и последнего витков катушки размечают по шаблону места для крепления соединительных пластин. Затем фрезеруют концы катушки под соединительные или выводные пластины и места фрезеровки облуживают. Отверстия под заклепки сверлят через просверленные соединительные пластины или по кондуктору. Соединительные или выводные пластины приклепывают и соединения пропаивают припоем ПОС-40, после чего места пайки зачищают.

Для плотного прилегания витков производят холодную прессовку катушки на гидравлическом прессе. На установочную плиту 8 (рис. 190), смонтированную на платформе 1 выдвижной тележки, устанавливают рихтовочную оправку 3. На оправку кладут стальную прокладку 2, устанавливают катушку и сверху кладут вторую прокладку. Катушку зажимают в прессующие угольники 6 путем подвертывания болтов 7. Тележку вкатывают на стол гидравлического пресса 4, устанавливают прессовочные колонки 5 и прессуют до получения высоты катушки, указанной в чертеже.

Изоляция между витками состоит из полосок асбестовой бумаги, которые нарезают на рычажных ножницах. Для прямолинейной части катушки нарезают полоски шириной на 2 мм шире медной шины. Для изолировки закруглений нарезают полоски двух размеров, чтобы можно было смещать стыки между полосками.

Катушку 1 (рис. 191) устанавливают на стеллаж 2 и растягивают в виде спирали, напильником снимают заусенцы и острые кромки с обеих

сторон всех витков, протирают катушку тряпкой и покрывают глифталевым лаком. На обе стороны катушки наклеивают асбестовую изоляцию, смещая стыки между отдельными полосками. Поверхность асбестовой изоляции покрывают лаком и сушат на воздухе. Затем витки сдвигают и зажимают катушку скобами. Внутреннее окно катушки расклинивают деревянными клиньями.

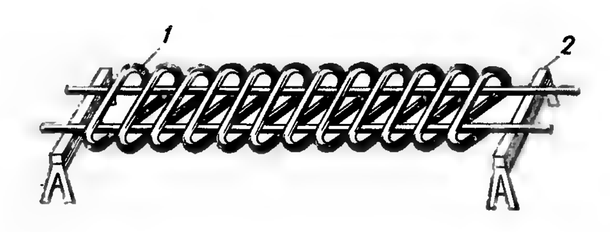


Рис. 191. Изолировка витков катушки

Для скрепления витков катушку запекают. Для этого на плиту выдвижной тележки устанавливают оправку, на основание которой кладут стальную прокладку *1* (рис. 192), изоляционную шайбу *4*, а сверху катушки — шайбу и вторую стальную прокладку. От оправки и угольников катушку изолируют асбестовыми прокладками *3*. Через витки катушки пропускают ток и нагревают ее до 180—200° С, проверяя температуру нагрева термопарой или термометром. Во время нагревания катушки внутреннее окно раздвигают разжимной оправкой, а наружные стороны поджимают угольниками *5* с помощью болтов.

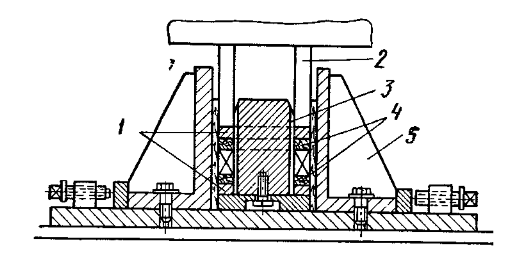


Рис. 192. Запекание катушки

Выключают ток, устанавливают на верхнюю стальную прокладку прессовочные планки *2* шириной несколько большей ширины медной шины. Прессуют катушку по высоте до указанных в чертеже размеров. Затем охлаждают катушку до температуры окружающего воздуха, не снимая давления. После остывания катушки снимают давление, освобождают ее от прессующих приспособлений и снимают с оправки. Катушку кладут на плиту и зачищают наружную и внутреннюю ее поверхности от выступающей междувитковой изоляции вровень с медными шинами. Боковые поверхности катушки покрывают электроэмалью.

При разработке мощных гидрогенераторов для Волжских ГЭС впервые был применен специальный профиль медных шин, у которого в процессе волочения сняты фаски (рис. 193), исключающие увеличение толщины шины при намотке сверх номинального размера.

Таким образом отпала необходимость в механических операциях по снятию утолщений. Кроме того, применение специального профиля дало ряд преимуществ. Катушка полюса мощного гидрогенератора весит 500—600 кг, а намотка производится с бухт массой 80—90 кг. Поэтому каждая катушка состоит из шести-восьми секций, которые после намотки сваривают встык. При этом значительная часть времени затрачивается на пригонку свариваемых концов. Для получения целого числа витков приходится при сварке обрубать концы шин значительной длины. При применении специального профиля намотка ведется не секциями, а непрерывно, пока не будет достигнуто полное число витков катушки. При этом конец одной бухты сваривают встык с началом следующей. Таким образом отпала необходимость комплектовки катушек.

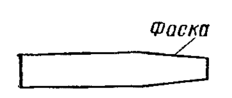


Рис. 193. Специальный профиль медной шины

При намотке катушек из меди специального профиля образуются щели на прямолинейных участках катушки. Их заполняют полосками асбестовой бумаги толщиной 0,5 мм, наклеиваемой с обеих сторон витка. Экономический эффект для одного гидрогенератора Волжской ГЭС выражается в снижении трудоемкости в среднем на 1000 нормо-часов и экономии меди около 1 тс. При этом повышается качество катушек и сокращается длительность производственного цикла.

§ 88. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ И ДЕМПФЕРНЫЕ ОБМОТКИ

Кроме обмоток возбуждения, надеваемых на полюса, в пазы полюсных наконечников вкладывают в машинах постоянного тока компенсационные обмотки, а в синхронных машинах — демпферные, или успокоительные, обмотки. В синхронных двигателях эти обмотки играют роль пусковых.

Компенсационные обмотки обычно применяют для больших машин мощностью от 400 кВт. Они соединены последовательно с якорем и поэтому выполняются из проводов большого сечения. Компенсационные обмотки состоят из изолированных стержней *3* (рис. 194) прямоугольного сечения, которые вставляют с торца полюса в пазы полюсных наконечников. Их соединяют в последовательную цепь при помощи медных дуг *2*, которые припаивают к концам стержней. В местах разъема станины паяные соединения заменяют болтовыми. Ввиду того, что медные дуги удалены одна от другой на значи-

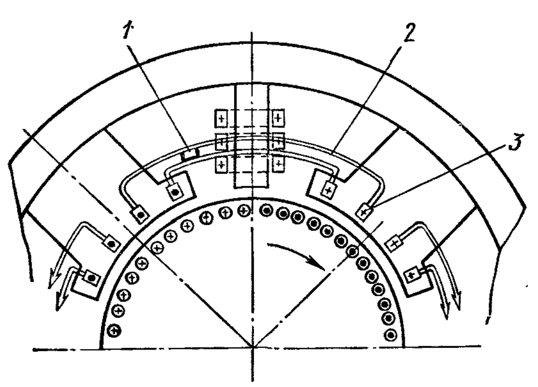


Рис. 194. Компенсационная обмотка

тельное расстояние, их обычно не изолируют, а покрывают электроэмалью. При сильных колебаниях тока в соединительных дугах образуют большие динамические усилия. Для предохранения от деформаций между дугами вставляют прокладки *1* из изоляционных материалов и стягивают их бандажами из крученого шнура. Соединительные дуги огибают торцовые части полюсных катушек и соединения между ними, поэтому они увеличивают длину машины. При ремонте полюсных катушек должны быть предварительно сняты эти дуги.

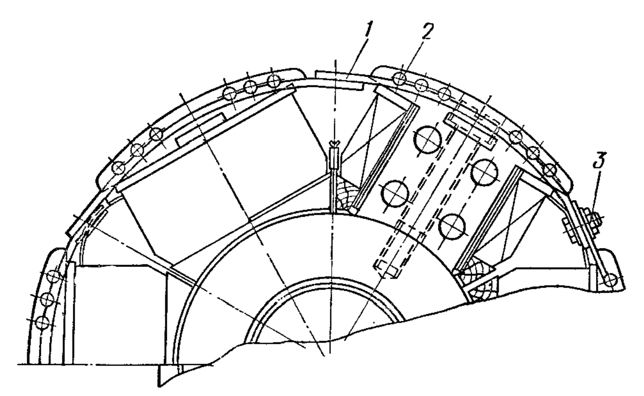


Рис. 195. Демпферная обмотка

В последнее время компенсационные обмотки стали применять и для машин меньшей мощности, особенно для двигателей с широким диапазоном регулирования скорости вращения путем изменения тока возбуждения. Для таких машин используют катушечные компенсационные обмотки, которые вставляют в открытые пазы полюсных наконечников. Лобовые части таких катушек расположены под торцовыми частями полюсных катушек и поэтому занимают меньше места по длине машины. Катушечные обмотки выполняют непрерывным проводом, поэтому в них отсутствуют паяные соединения между пазовыми и лобовыми частями, что значительно облегчает их изготовление и монтаж. Для размещения лобовых соединений полюсные наконечники должны иметь достаточную радиальную высоту.

Демпферные обмотки представляют собой короткозамкнутые клетки, подобные роторным «беличьим клеткам». Они состоят из круглых медных или латунных стержней *2* (рис. 195), которые забивают в пазы полюсных наконечников роторов синхронных машин. С обеих сторон полюса стержни сварены или спаяны с замыкающими кольцами, сотоящими из отдельных дуг *1*. Концы соседних дуг после сборки полюсной системы соединяют с помощью болтов *3*.

В машинах старых серий в соединительных дугах сверлили отверстия и надевали их на выступающие из пазов концы стержней. Это представляло большие трудности, так как стержни при забивании в пазы искривлялись, а концы их расплющивались. В современных типах

синхронных машин средней мощности дуги подложены к стержням снизу и сварены с ними, как показано на рис. 195. При такой конструкции значительно упрощается процесс сварки, особенно в тех случаях, когда стержни и дуги выполнены из разных материалов с различными температурами плавления.

В мощных гидрогенераторах длина полюса ротора достигает 3 м, поэтому их собирают в горизонтальном положении на специальном приспособлении. В процессе сборки полюса в пазы забивают стержни демпферной обмотки с помощью пневматического молотка. На концы стержней надевают массивные соединительные дуги и сваривают их со стержнями.

§ 89. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ

Катушки возбуждения машин постоянного тока должны быть соединены так, чтобы полярности полюсов чередовались. Этого можно было бы достигнуть, наматывая соседние катушки в разных направле-

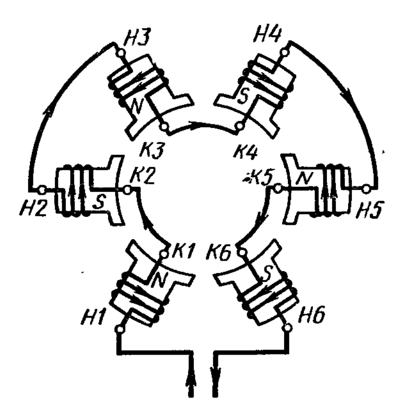


Рис. 196. Схема последовательного соединения катушек возбуждения

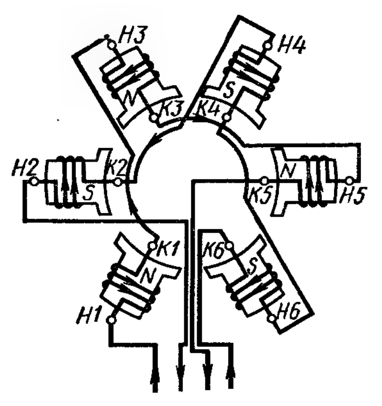


Рис. 197. Соединение катушек возбуждения в две группы

ниях (по часовой стрелке и против нее). Однако это неудобно в технологическом отношении, так как пришлось бы изменять направление вращения намоточных станков. Поэтому обычно все катушки возбуждения наматывают в одном направлении, а различную полярность полюсов получают путем соответствующего соединения катушек.

На рис. 196 показана схема последовательного соединения катушек возбуждения, применяемая в машинах малой мощности. Противоположная полярность соседних полюсов получается благодаря соединению конца первой катушки *К1* с концом второй катушки *К2*, начала второй катушки *Н2* с началом третьей *Н3* и т. д.; конец катушки соединяют с концом, начало с началом. Чтобы избежать ошибок при соединении катушек концы и начала катушек обозначают соответственно буквами *Н* и *К*, написанными красной краской. Кроме того, обозна-

чают стороны катушек, прилегающие к корпусу машины, так как перевертывание катушки влечет за собой изменение полярности.

В крупных машинах катушки возбуждения нечетных полюсов соединяют в одну группу, а четных — в другую (рис. 197). При этом конец первой катушки *К1* соединяют с началом третьей *Н3*, конец третьей *К3* — с началом пятой *Н5* и т. д., а конец второй катушки *К2* с началом четвертой *Н4*, конец четвертой *К4* с началом шестой *Н6*. Таким образом, соединение ведется по правилу: конец с началом через полюс.

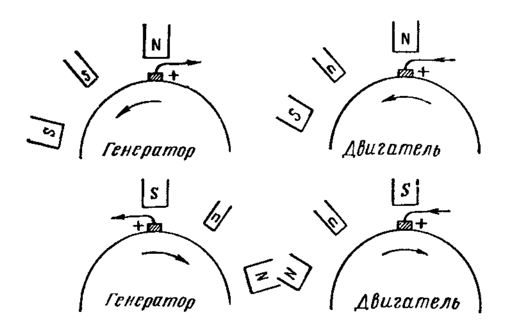


Рис. 198. Чередование полярности полюсов

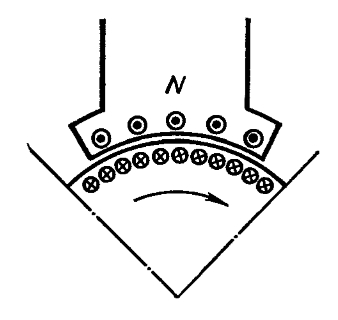


Рис. 199. Направление тока в компенсационной обмотке

Группы могут быть соединены последовательно или параллельно. На одном полюсе могут быть две или несколько катушек, причем их намагничивающие силы могут быть направлены согласно или встречно в зависимости от схемы машины.

Все машины постоянного тока мощностью выше 1 кВт, кроме главных, имеют добавочные полюса. Чередование полярностей главных и добавочных полюсов зависит от направления вращения якоря и режима работы машины (в качестве двигателя или генератора). На рис. 198 показаны все четыре случая чередования главных *N*, *S* и добавочных *n*, *s* полюсов. Как видно на схемах, у генераторов по направлению вращения после главного следует добавочный полюс другой полярности, а у двигателей — добавочный полюс той же полярности.

На схемах показана также полярность щеток под первым полюсом. Эти схемы составлены для машин с наиболее распространенными правыми петлевыми или левыми волновыми обмотками якоря. При левой петлевой и правой волновой обмотках на этих схемах надо изменить знак щетки — плюс на минус. Полярность щеток необходима для правильного соединения добавочных полюсов с якорем. В генераторе ток направлен от щетки плюс во внешнюю цепь, а в двигателе — от щетки плюс в обмотку якоря.

Для соединения компенсационной обмотки последовательно с обмоткой якоря ток в ней должен проходить по направлению, противоположному направлению тока в части обмотки, лежащей под полюсом. Например, при работе в режиме генератора и вращении якоря по часовой стрелке (рис. 199) ток в его обмотке, лежащей под север-

ным полюсом, направлен от нас, значит ток в компенсационной обмотке должен быть направлен к нам. При изменении режима работы или направления вращения якоря токи в обмотке якоря и компенсационной изменят направление, и правило включения будет соблюдено.

Контрольные вопросы

1. Объясните кинематическую схему намоточного станка для полюсных катушек.
2. Каков принцип работы станка для изолировки полюсных катушек?
3. Из каких операций состоит процесс изготовления шинной катушки, намотанной плашмя?
4. Объясните схему работы станка для намотки катушки на ребро.
5. Какие достоинства имеет специальный профиль меди для намотки полюсных катушек гидрогенераторов?
6. Каково устройство компенсационной обмотки?
7. Как изготовляют демпферные обмотки синхронных машин?

ГЛАВА XIII. ПРОПИТКА ОБМОТОК

§ 90. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОПИТКИ

Надежность изоляции обмоток определяется не только свойствами самих изоляционных материалов, но и качеством их пропитки. В процессе развития электромашиностроения технология пропитки прошла большой путь, прежде чем достигла современного уровня. На дореволюционных электромашиностроительных заводах пропитка не только волокнистых изоляционных материалов, но и обмоточных проводов марок ПБО и ПБД проводилась пропусканием их через ванну с лаком, а иногда с льняным маслом. После этого провода просушивали для образования пленки и направляли в намотку. Из-за сложности и продолжительности такого процесса в дальнейшем стали пропитывать намотанные катушки, а для машин с противосыростной изоляцией, кроме того, обмотанные сердечники покрывали лаком при помощи кисти. Для наружного покрытия обмотанных сердечников почти исключительно применяли шеллачный лак. В более густой концентрации этот же лак служил для подклеивания слоев изоляции из хлопчатобумажных лент.

Большим достижением в отношении повышения свойств изоляции явилось применение асфальтовых лаков, а затем и компаундных составов. Современная техника пропитки располагает десятками марок пропиточных, покровных и клеящих лаков и сложными пропиточными установками с автоматическим выдерживанием заданных режимов пропитки и сушки. Пропитка изоляционных материалов повышает их нагрево- и влагостойкость, электрическую и механическую прочность, химическую стойкость, улучшает их теплопроводность и защищает изоляцию от воздействия пыли и смазочных масел.

Повышение нагревостойкости электроизоляционных материалов после пропитки подтверждается тем, что одни и те же изоляционные материалы до пропитки относят к классу нагревостойкости Y, а после пропитки — к классу A, причем допустимая рабочая температура повышается с 90 до 105° C. Это объясняется тем, что в непропитанных целлюлозных материалах при температуре выше 90°C происходит ускоренное разрушение, связанное с окислительными процессами. Пропитка катушек с эмалевой изоляцией проводов повышает срок их службы в 3—4 раза.

Все волокнистые материалы, особенно целлюлозные, обладают способностью поглощать влагу из окружающей среды. При увлажнении изоляции ее диэлектрические свойства резко ухудшаются. Для повышения влагостойкости изоляцию электрических машин необходимо пропитывать. Лаковая пленка затрудняет проникновение влаги в поры

изоляции. Пропитка для повышения влагостойкости нужна не только волокнистым материалам, но и эмалевой изоляции проводов.

Электрическая прочность непропитанных волокнистых материалов низка, так как их поры заполнены воздухом. При пропитке поры заполняются пропиточными составами и электрическая прочность изоляции значительно возрастает.

В обмотках высоковольтных машин в воздушных прослойках происходит ионизация воздуха и выделяющийся озон разрушает органическую изоляцию. Воздушные прослойки в слюдяной изоляции вызывают вспухание и даже перерезание изоляции в местах ее выхода из паза и в вентиляционных каналах. Поэтому компаундирование для заполнения всех воздушных прослоек битумом обязательно.

Пропитка обмоток не только повышает механическую прочность самих изоляционных материалов, но и скрепляет витки обмотки, что предотвращает их износ в результате вибраций, электродинамических усилий и тепловых расширений проводов при работе электрических машин. Это имеет особое значение для многовитковых обмоток из тонких проводов.

Под влиянием кислот и щелочей органическая изоляция очень быстро разрушается. Пропитка обмоток химически стойкими лаками защищает поверхность изоляции от действия химически активных частиц, что значительно повышает ее надежность.

Мощность электрических машин ограничена вследствие нагрева их обмоток. При работе машины основнсе тепло выделяется в активных ее частях и главным образом в обмотках. Нагрев обмоток при данном режиме работы машины зависит от того, насколько быстро тепло отводится от обмоток охлаждающим воздухом. Поэтому теплопроводность изоляции является очень важным свойством. В непропитанных обмотках прослойки воздуха значительно снижают теплопроводность изоляции, что ведет к сильному перегреву проводов. После пропитки теплоотдача от меди обмотки улучшается. Это позволяет увеличить плотность тока в проводах, экономить обмоточную медь и повысить срок службы машины. После пропитки на поверхность изоляции наносят пленки покровных лаков или эмалей, которые защищают изоляцию от воздействия смазочных масел и препятствуют осаждению на ней пыли и грязи, создающих проводящие мостики и ухудшающих охлаждение обмоток.

§ 91. ПРОЦЕССЫ СУШКИ, ПРОПИТКИ И ЛАКИРОВКИ

Изоляционные материалы при длительном хранении в помещении с нормальной, а тем более с повышенной, влажностью поглощают влагу, которая снижает электрическую прочность изоляции и препятствует проникновению в нее пропиточного лака. Поэтому перед пропиткой изоляционные материалы и обмотки сушат. Исключением являются обмотки, пропитываемые в водноэмульсионных лаках, так как их растворитель (вода) хорсшо смешивается с влагой изоляции и удаляется в процессе сушки после пропитки. Чем выше температура сушки,

тем быстрее удаляется влага из обмотки, однако нельзя превышать температуру, определяемую нагревостойкостью изоляции, во избежание ее ускоренного старения. Значительно ускоряет процесс сушка под вакуумом. Перед вакуумной сушкой обмотки прогревают при атмосферном давлении.

Основным способом пропитки является пропитка погружением нагретой обмотки в лак. Проникновение лака в обмотку происходит в результате действия капиллярных сил и давления, оказываемого весом лака. Число пропиток выбирают в зависимости от условий эксплуатации машины, а также от применяемых изоляционных материалов. Пропитке подвергают изоляционные материалы, катушки обмоток и обмотанные части машин. При пропитке под вакуумом и давлением особенно эффективен так называемый тренировочный процесс, при котором лак попеременно по 3—5 мин находится под атмосферным давлением и давлением 7 — 8 кгс/см^2.

После пропитки и стекания излишков лака снова сушат обмотки для удаления растворителей. Обмотки устанавливают в сушильную печь так, чтобы они лучше омывались горячим воздухом. Процесс сушки разделяется на две стадии: разогревание обмотки с удалением растворителей и запекание лаковых пленок. Степень сушки определяют по сопротивлению изоляции. Для снижения времени сушки кратковременно повышают температуру.

Обмотки, предназначенные для работы в тяжелых условиях, например при повышенной влажности или ионизации воздуха, компаундируют битумным компаундом. Процесс компаундирования состоит из сушки при атмосферном давлении и под вакуумом и пропитки при давлении 7—8 кгс/см^2. При этом воздушные промежутки в изоляции уничтожаются путем опрессовки и заполнения их компаундом. Компаундирование намного повышает электрическую прочность изоляции, поэтому его применяют для всех высоковольтных машин. Температура нагрева микалентной изоляции определяется температурой разжижения компаунда.

Лакировка обмоток заключается в нанесении на их поверхность тонкого слоя покровного лака или эмали. Лучшее качество пленки получается при нанесении лака пульверизатором. Чтобы получить толстые слои покровного лака, производят несколько покрытий с промежуточными сушками в печи или на воздухе. Для нанесения лака применяют специальные пистолеты-распылители, при помощи которых за 1 ч можно покрыть до 1000 м^2 поверхности. Они работают от сети сжатого воздуха под давлением 4—6 кгс/см^2. Лак подается из специального бачка, находящегося на высоте 2—3 м от пола. Расстояние от сопла до покрываемой поверхности 600—1000 мм, поэтому можно покрывать обмотки статора, находясь вне камеры распыления.

Обмотки сушат не только на заводах, но и при монтаже. Перед пуском машины после монтажа обмотки подсушивают. Для этого часто прибегают к пропусканию тока через обмотки. При внедрении пропитки в водноэмульсионных лаках, не являющихся пожароопасными, появилась возможность применять токовый метод сушки и в производст-

ве электрических машин. Опыт, проведенный на некоторых заводах, показал, что при этом можно значительно снизить продолжительность сушки. Так, например, для статора электродвигателя единой серии А-42/4, по данным Дмитровского электромеханического завода, время сушки в печи с конвекционным нагревом составляло 19,5 ч, а при токовой сушке — только 2,7 ч. При этом расход электроэнергии сократился с 3,27 до 1,43 кВт·ч на один статор.

Нагревать обмотки можно как постоянным, так и переменным током. При переменном токе вследствие индуктивного сопротивления обмоток приложенное напряжение должно быть выше, чем при постоянном токе. При сушке в сушильных камерах нагрев распростра-

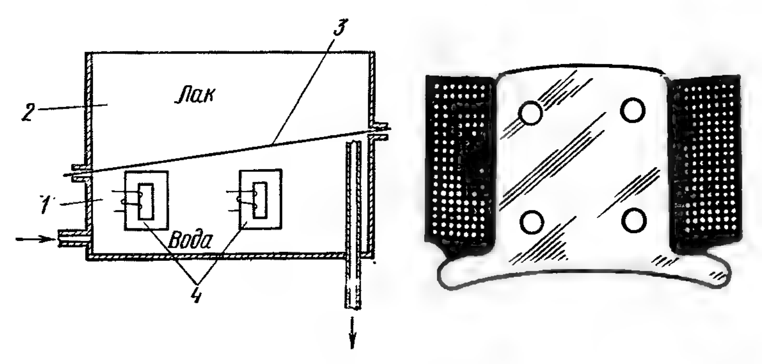


Рис. 200. Ванна для ультразвуковой пропитки обмоток

Рис. 201. Катушка, пропитанная вместе с полюсом

няется от наружной поверхности внутрь обмотки, а при токовой сушке — наоборот, что способствует лучшей сушке витковой изоляции.

Ускорение процесса пропитки достигается применением ультразвука. Для этого делают двухкорпусную пропиточную ванну, разделенную перегородкой *3* из фосфористой бронзы, играющей роль мембраны (рис. 200). Нижнее отделение *1* заполняют циркулирующей водой и помещают в нем излучатели *4*, питаемые током высокой частоты, а в верхнем *2*, наполненном пропиточным лаком, подвешивают пропитываемые детали. Время пропитки снижается с 2,5 ч до 2 мин. Пропиточный лак проникает в мельчайшие поры и даже между листами сердечника и между пластинами коллектора. Однако такое глубокое проникновение лака затрудняет процесс сушки в обычных печах. Поэтому применяют токовую сушку обмоток. Дальнейшая разработка методов пропитки и сушки должна идти по пути интенсификации этих процессов. Сочетание ультразвуковой пропитки с комбинированной сушкой в печи и пропусканием тока через провода позволит добиться еще более эффективных результатов.

В последние годы значительно усовершенствована технология пропитки полюсных катушек. По существовавшей технологии полюсные катушки после намотки изолировали лентами в несколько слоев. Этот процесс, несмотря на внедрение изолировочных станков, имел технологические недостатки, особенно для катушек дополнительного полюса с узким внутренним отверстием. После изолировки катушки компаун-

дировали и затем собирали на сердечниках полюсов, закрепляя их во избежание вибрации. При этом между сердечником полюса и внутренним окном катушки оставались зазоры до 4,5 мм на сторону, что сильно снижало теплоотдачу от катушки к магнитопроводу.

По новой технологии катушки после намотки оплетают стеклянной лентой для стягивания витков, затем помещают вместе с полюсом в специальную форму и пропитывают различными составами на эпоксидных смолах (рис. 201). Для повышения теплопроводности в качестве наполнителя применяют кварцевый песок. Испытания катушек, изготовляемых по новой технологии, дали хорошие результаты. Значительно повысилась влагостойкость и виброустойчивость катушек, снизилась температура нагрева. Анализ результатов испытаний подтвердил возможность изменения конструкции катушек, уменьшив их размеры, что даст большую экономию изоляционных, активных и конструкционных материалов.

§ 92. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОПИТКИ И СУШКИ

Обмотки электрических машин сушат и пропитывают в сушильно-пропиточных установках (сокращенно СПУ), которые делят на установки периодического и непрерывного действия.

Пропиточно-сушильные установки периодического действия могут быть приспособлены для обмоток разнообразной конструкции, поэтому их широко применяют в электромашиностроении при мелкосерийном производстве. Основным их оборудованием являются пропиточные ванны, сушильные печи и транспортные устройства. Для вакуумной пропитки или сушки установку оборудуют автоклавами и вакуум-сушильными шкафами. Изделия загружают в автоклав, который герметически закрывают, после чего в нем создается разрежение вакуумными насосами. Засасывание лака из наружного резервуара производится атмосферным давлением. Пропиточный лак в ванны подается только на время пропитки. Это уменьшает потери растворителя от испарения и устраняет образование воздушных пузырьков внутри обмотки.

Пропиточные ванны имеют систему отсосов для удаления вредных паров растворителей, а также систему аварийного слива лака в случае его загорания. Изделия погружают в ванну на специальных подвесках. Для подачи на сушку пропитанных изделий служат тележки, вкатываемые в камеру печи при помощи пневматического или механического привода.

Тепловые агрегаты сушильных печей состоят из калориферов, вентиляторов и системы воздуховодов. Для снижения потерь тепла предусматривается частичная рециркуляция отработанного воздуха. Калориферы бывают с паровым и электрическим нагревом. Паровые калориферы применяются преимущественно в непрерывно работающих установках при невысокой температуре сушки. Электрокалориферы обеспечивают более высокую температуру нагрева, обладают малой тепловой инерцией и допускают автоматическое регулирование температуры. Они имеют трубчатые или другого типа электронагреватели, соединенные параллельно.

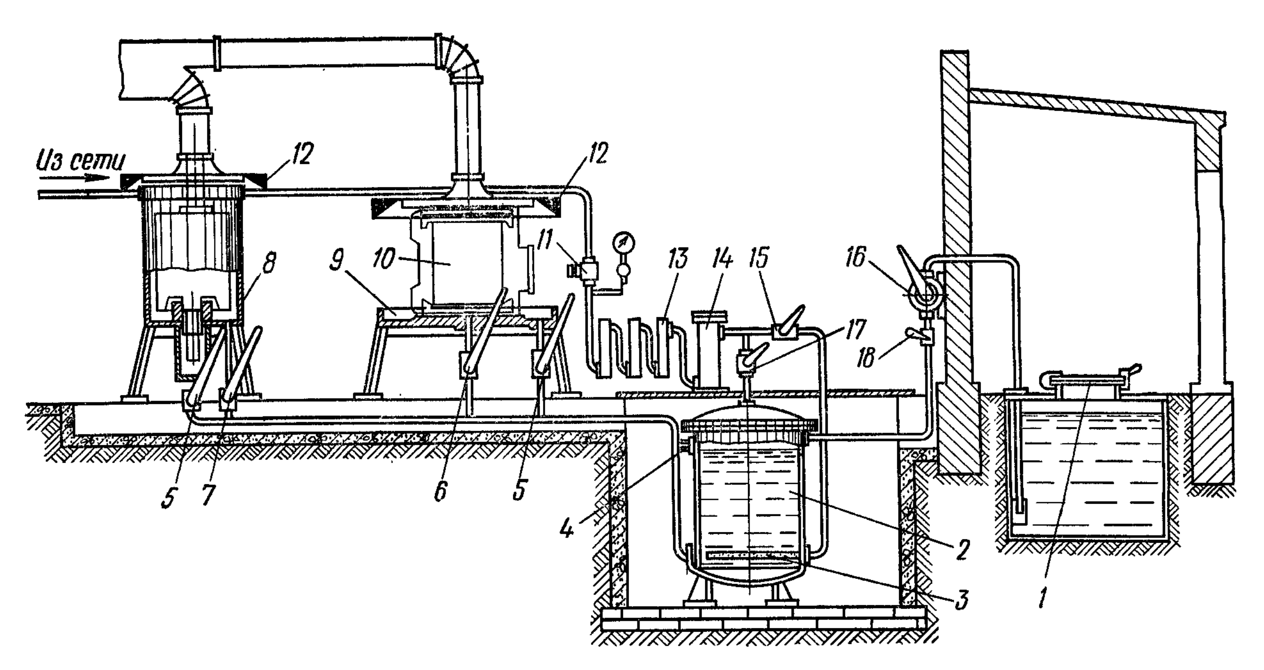


Рис. 202. Установка для пропитки статоров и роторов

Вентиляторы применяют как осевые, так и центробежные. Для обеспечения взрывобезопасности кожухи вентиляторов изнутри обшивают листами цветного металла, чтобы при задевании лопастей вентилятора за кожух не получалось искр. Воздуховоды изготовляют из листовой стали с теплоизоляцией. Температура измеряется обычно термометрами сопротивления. Система сигнализации подает звуковой или световой сигнал при какой-либо неисправности установки.

При погружении обмотанных статоров и роторов в ванну с лаком происходит обильное выделение паров растворителей, ухудшающих условия труда. Кроме того, изоляционный лак расходуется на покрытие наружной поверхности станины, вала и других механических деталей. Эти недостатки устраняются при пропитке статоров изнутри. В дне пропиточного бака *9* (рис. 202) для ротора врезана труба, в торец которой упирается его втулка. Благодаря этому снижается объем лака при пропитке и его непроизводительный расход. Торец станины перекрыт столом *9*, на заточку которого она установлена, и поэтому внешняя поверхность станины в процессе пропитки остается сухой.

Недельный запас лака хранится в резервуаре *1*, находящемся в изолированном помещении. В нем составляют лак и доливают растворитель до определенной степени вязкости. В рабочий бак *2* лак перекачивают при помощи ручного насоса *16*. В момент перекачки краны *5*, *17* закрыты, а краны *4*, *18* — открыты. Кран *4* служит указателем уровня лака в рабочем баке. Сжатый воздух при открытии крана *15* подают от сети под давлением 2 кгс/см^2. Это давление поддерживается на данном уровне редуктором *11* и контролируется по манометру. Воздух очищается в отстойнике *13* и фильтре *14*. Для перемешивания лака воздух периодически подается в кольцо *3* с мелкими отверстиями.

Для производства пропитки сжатый воздух впускают в бак *2* через кран *17*, который расположен в непосредственной близости от пропиточных баков. Для пропитки статора открывают кран *6* и уровень лака доводят до верхней кромки станины. Лак выдерживают до прекращения выделения пузырьков и спускают обратно в бак *2*. В бак *8* лак впускают краном *7*, а в бак *10* — краном *6*. Краны *5* служат для спуска просачивающегося через неплотности в пропиточных баках лака. Для отсоса паров растворителей служат вытяжки *12*.

При использовании установок периодического действия требуются затраты труда на загрузку и выгрузку изделий, промежуточные склады для пропитываемых статоров и роторов; кроме того, не обеспечивается стабильность технологического процесса.

Пропиточно-сушильные установки непрерывного действия применяют при крупносерийном и массовом производстве. Их выполняют с автоматическим управлением технологическим процессом, при котором относительная продолжительность различных операций определяется соотношением конструктивных размеров установки. По конструктивному выполнению большая часть сушильно-пропиточных установок представляет собой цепной конвейер. В установках этого типа изделия подвешивают на подвесках, связанных с каретками, катящимися по монорельсовому пути. Каретки связаны цепью, которая приводит их в движение.

На рис. 203 показаны продольный разрез пропиточной ванны и поперечный разрез сушильной печи пропиточно-сушильного конвейера завода «Динамо» для статоров и роторов крановых электродвигателей. Пропитку производят в водноэмульсионном лаке *2* (рис. 203, *а*), что позволяет расположить ванну *1* непосредственно в обмоточном цехе. Сушильная печь имеет две зоны (рис. 203, *б*).

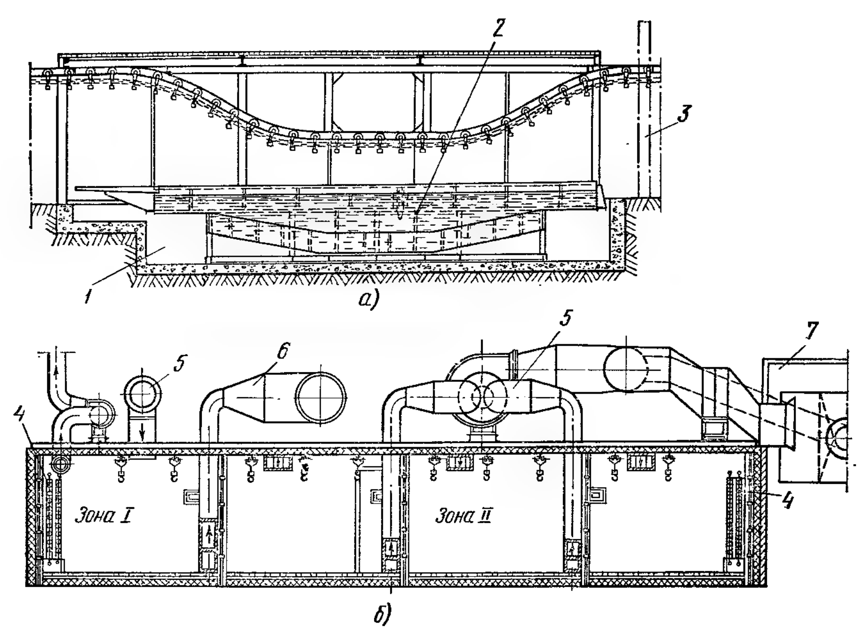


Рис. 203. Установка для непрерывной пропитки:

а — продольный разрез пропиточной ванны, *б* — поперечный разрез сушильной печи

В зоне *I* происходит предварительная сушка после пропитки при 90—100° С, а в зоне *II* — окончательная сушка и запечка лака при 130—135° С. Для поддержания необходимой температуры в зоне *I* вдоль боковой стенки установлены батареи *4* из труб, нагреваемых паром, а также парокалорифер *5*, размещенный на крыше печи. Воздух через калорифер и трубы прогоняется вентилятором, который забирает его из нижней части зоны *I* и выбрасывает в верхнюю часть зоны. Над зоной *I* установлен вентилятор *6* для выброса части воздуха в атмосферу, чтобы снизить концентрацию паров растворителей.

Зона *II* обогревается тремя источниками тепла: батареями *4*, обогреваемыми паром, парокалорифером *5*, установленным на крыше печи, и электрокалорифером *7*, размещенным в пристроенном к печи помещении. Из нижней части зоны *II* воздух засасывается вентилятором и далее идет в смеситель через паро- и электрокалориферы, а затем по трубам в верхнюю часть зоны *II*.

На торце печи имеются два окна *3* (рис. 203, *а*) для входа и выхода изделий, которые для уменьшения потерь тепла снабжены шторками

из листовой резины. Пропиточная ванна установлена в бетонированном углублении в полу цеха. К торцу ее пристроен лоток с наклонным дном для стекания лака.

Применение пропиточно-сушильного конвейера позволило создать жесткий режим пропитки и сушки и повысить качество пропитки. При этом достигается большая экономия электроэнергии, сокращаются транспортные расходы и улучшаются санитарные условия работы.

§ 93. КОМПАУНДИРОВАНИЕ ОБМОТОК

Полюсные катушки и катушки статоров высоковольтных машин компаундируют в специальных котлах (автоклавах) с двойными стенками, между которыми циркулирует теплоноситель, обеспечи-

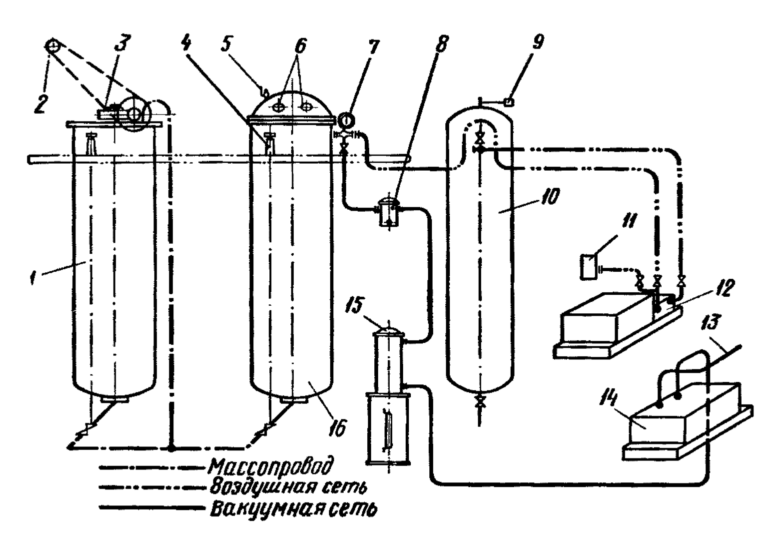


Рис. 204. Схема установки для компаундирования

вающий при компаундировании температуру 170° С. Схема установки для компаундирования показана на рис. 204. Детали, подвергающиеся компаундированию, опускают в проволочных сетках в автоклав *16* с герметически закрывающейся крышкой, которая уплотняется свинцовой прокладкой. Автоклав имеет двойные стенки, между которыми циркулирует пар под давлением не ниже 8 кгс/см^2. Для нагрева автоклава применяют также масло, нагреваемое электрическими сопротивлениями.

Рядом с автоклавом помещен смесительный котел *1* также с двойными стенками, между которыми циркулирует теплоноситель. Битумная масса в смесительном котле находится в нагретом жидком состоянии. Все трубопроводы, по которым проходит масса, также снабжены рубашками с подогревом во избежание затвердевания массы и закупорки трубопроводов.

В верхней части смесительного котла установлена червячная передача 3 мешалки, приводимая во вращение от шкива 2 электродвигателя. Вращение мешалки препятствует осаждению твердых частей битумной массы на дно смесительного бака и обеспечивает однородный нагрев массы. На крышке автоклава установлены вентили 4 и 5 для выпуска воздуха и смонтированы смотровые окна со стеклами 6 для наблюдений за процессом компаундирования. На боковой стенке автоклава установлен мановакуумметр 7 для измерения давления или разрежения внутри автоклава.

Разрежение в автоклаве создается при помощи вакуум-насоса 14, который выбрасывает воздух через выхлопную трубу 13. Для предохранения вакуум-насоса от загрязнения битумной массой в трубопроводе встроен массоулавливатель 8, а за ним — конденсатор 15. Вакуум-насос может создать в автоклаве сильное разрежение (до 20 мм рт. ст.). Но производительность его мала, поэтому сначала воздух откачивают при помощи компрессора 12, переключив его посредством кранов на всасывание, а затем включают вакуум-насос.

Компрессор забирает воздух через фильтр 11, улавливающий влагу и пыль, взвешенные в окружающем воздухе. Компрессор может быть соединен с автоклавом непосредственно или через воздушный резервуар 10 для ускорения создания давления в автоклаве при пропитке. Резервуар оборудован предохранительным клапаном 9 для защиты его от разрыва при повышенном давлении.

Все агрегаты установки соединены трубами, из которых одни являются массопроводами, другие — воздушной сетью, третьи составляют вакуум-сеть для создания разрежения. На схеме они обозначены условными линиями. Штурвалы служат для управления кранами массопроводов.

Процесс компаундирования требует точного выдерживания режима. При слишком высокой температуре битумной массы она легко проникает в глубь обмотки, но изоляция остается недопрессованной, при слишком низкой температуре изоляция обмотки хорошо прессуется, но масса не проникает в поры изоляции.

Так как компаундная масса более густая, чем пропиточные лаки, то для проникновения ее в поры изоляции и в промежутки между слоями изоляции необходимы специальные режимы, отличные от режимов пропитки.

Для компаундирования полюсных катушек необходимо:

уложить катушки в проволочную сетку;

загрузить автоклав катушками и прикрыть крышку автоклава, не затягивая ее болтами;

сушить катушки в автоклаве в течение 3 ч;

плотно затянуть болтами крышку автоклава;

создать в автоклаве вакуум при помощи вакуум-насоса и сушить катушки под вакуумом в течение 2 ч;

подать в автоклав битумную массу из мешалки;

впустить в автоклав воздух;

поднять давление в автоклаве посредством компрессора до 6 кгс/см^2 и поддерживать его в течение 5 ч;

выпустить битумную массу из автоклава в мешалку, продуть массопровод и дать стечь массе в течение 0,5 ч;

открыть крышку автоклава, вынуть сетку с катушками;

снять с неостывших катушек временную ленту с налипшей битумной массой.

При нагреве до 105°С битумная масса размягчается и при дальнейшем нагреве от нее начинают отделяться капли. Во избежание разбрызгивания битумной массы под действием центробежной силы при вращении ротора или якоря компаундирование не применяют для вращающихся обмоток.

Низкая температура плавления битумной массы ограничивала температуру нагрева обмоток более низкими пределами, чем могут выдержать изоляционные материалы классов В и F. В настоящее время разработан и применяется компаунд с рабочей температурой 130°С.

Контрольные вопросы

1. Какое назначение имеет пропитка обмоток?
2. Какие существуют способы сушки обмоток?
3. Какое достоинство имеет пропитка катушек вместе с полюсом?
4. Расскажите об устройстве установки для пропитки статоров и роторов.
5. Как устроен пропиточно-сушильный конвейер?
6. Из каких частей состоит установка для компаундирования обмоток?

ГЛАВА XIV. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Советское трудовое законодательство является самым передовым. На советских предприятиях ведут планомерную работу по предупреждению несчастных случаев на производстве, для чего разрабатывают специальные мероприятия по технике безопасности.

Под техникой безопасности понимают часть мероприятий из общего комплекса мероприятий по охране труда, направленных на создание здоровых, рациональных и безопасных условий труда на производстве. В полный комплекс вопросов охраны труда входят техника безопасности, производственная санитария и выполнение трудового законодательства. Ни один рабочий не допускается к работе прежде, чем не изучит правил техники безопасности. Меры по технике безопасности для различных участков предприятия имеют свои особенности и предусмотрены специальными инструкциями. Однако не все особенности условий работы могут быть предусмотрены инструкциями, поэтому перед началом новой работы рабочий должен выслушать дополнительные указания мастера.

§ 94. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ И В ЦЕХАХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Основная опасность на территории предприятия — возможность попадания рабочего под транспорт, в колодцы, траншеи. Чтобы исключить несчастные случаи, согласно действующим положениям должны соблюдаться следующие требования:

площадь заводского двора должна быть ровной, без рытвин и ям, за исключением тех случаев, когда они необходимы для технических целей (тогда их ограждают);

двор должен содержаться в чистоте, сор должен быть собран в закрытые ящики, а затем вывезен или сожжен;

для передвижения пешеходов должны иметься тротуары, настилы, дорожки достаточной ширины, вымощенные надлежащим материалом;

в местах пересечения пешеходных дорожек с рельсовыми путями должны быть установлены шлагбаумы, надписи, звуковая и световая сигнализация, предупреждающая о приближении транспорта. Ночью заводские дворы должны быть достаточно освещены.

При передвижении по территории предприятия нужно быть внимательным и не нарушать установленных правил.

В цехах предприятия возможны несчастные случаи: попадание под цеховой транспорт, захват одежды движущимися частями и механизмами оборудования, ожоги горячим металлом, поражение

электрическим током. Чтобы этого не случилось, принимают следующие меры предосторожности:

ограждают вращающиеся передаточные механизмы станков; запрещают пускать в ход станки лицам, не работающим на них;

предупреждают каждого рабочего, имеющего дело с электрической сваркой, о вредном действии, оказываемом на зрение и кожу ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами электрической дуги;

заземляют корпуса электрических машин и аппаратов;

защищают все части машин и аппаратов, находящиеся под напряжением, от случайного прикосновения к ним.

Находясь в цехах предприятия, следует быть внимательным, слушать сигналы, подаваемые водителями цехового транспорта, и уступать дорогу транспорту. Нельзя заходить за ограждения движущихся и токоведущих частей. Надо остерегаться прикосновения к частям проводки во избежание поражения электрическим током.

Обмоточное производство состоит из различных участков, на которых производят такие операции, как намотку катушек, гибку стержней, изолировку обмоток, сушку и пропитку их, укладку в пазы, паяние, бандажировку, отделку якоря и электрические испытания. На каждом из этих участков должны соблюдаться соответствующие правила техники безопасности.

Работа на станках. В обмоточном производстве применяют токарные станки для обточки коллекторов, намоточные станки для намотки проволочных и шинных катушек и секций, изолировочные станки, бандажировочные станки, пневматические и гидравлические прессы, станки для продороживания коллекторов и др. К самостоятельной работе на станках допускают только обученных рабочих, получивших соответствующую квалификацию. В порядке совмещения профессий многие обмотчики получают дополнительные специальности, связанные с работой на станках.

При работе на станках надо соблюдать следующие правила техники безопасности:

вращающиеся части станков (зубчатые колеса, шкивы) должны быть ограждены специальными щитами, кожухами или решетками;

у работающих на станках женщин голова должна быть повязана косынкой, чтобы волосы не могли попасть во вращающиеся части станка;

рукава надо плотно завязать тесемками у кисти руки;

проточку и продороживание коллекторов необходимо выполнять в защитных очках во избежание попадания в глаза стружек;

при намотке катушек и бандажей надо остерегаться, чтобы пальцы не попали под наматываемую проволоку;

при бандажировке надо прочно установить ротор в центрах и надежно запереть заднюю бабку станка, так как сильное натяжение бандажной проволоки может вырвать ротор из центров и сбросить его на ноги работающему;

при работе на быстроходных намоточных станках следует пользоваться защитным стеклом или предохранительными очками, так как при обрыве провода конец его может повредить глаза;

при работе на изолировочных станках следует остерегаться попадания рук в зону вращающейся изолировочной головки;

работая на рычажных ножницах, надо поддерживать разрезаемый материал прижимной планкой, а не рукой;

при работе с механизмами с пневматическим приводом необходимо следить за тем, чтобы пальцы не попали в зону действия зажимных устройств;

работая на эксцентриковых прессах, нельзя подносить руки к движущимся деталям штампа; вкладывать под штамп заготовки или детали надо при помощи соответствующих инструментов;

при пользовании ваннами для паяния якорей и роторов необходимо следить за тем, чтобы не вызвать ожога рук и лица брызгами расплавленного припоя.

Работа на слесарном участке. Причинами ушибов, ранений и ожогов при выполнении слесарных работ чаще всего бывают неисправности рабочих инструментов или неправильный метод работы.

При работе на слесарном участке надо соблюдать следующие правила техники безопасности:

верстачные тиски должны быть установлены так, чтобы рабочий мог занимать правильное положение во время работы;

пользоваться можно только исправными инструментами;

при заточке инструментов на точильном камне необходимо защищать глаза от летящих искр защитным стеклом или очками;

отдельные рабочие места должны быть ограждены сетками для защиты отлетающих стружек при рубке и резке металлов;

при паянии или сварке металлов следует пользоваться специальными рукавицами, чтобы избежать ожога рук;

помещение, в котором производят паяние, должно иметь вытяжную вентиляцию (общую или местную) для удаления выделяющихся при паянии газов;

при составлении оловянно-свинцовых припоев следует выполнять все требования промышленной санитарии, так как пары свинца являются сильными ядами.

Работа на обмоточных участках. На обмоточных участках крупных машин приходится устанавливать, перемещать и снимать тяжелые сердечники, пользуясь грузоподъемными механизмами. Все работы, связанные с подъемом и перемещением грузов, относятся к такелажным. Техника безопасности при производстве такелажных работ выделена в особый отдел.

При обмотке статоров, якорей и роторов обмотчики должны выполнять следующие правила техники безопасности:

при укладке обмоток в пазы следует правильно держать рабочие инструменты;

при резке изоляции ножом необходимо остерегаться поранить руки;

роликовые опоры, на которых устанавливают роторы при обмотке, должны легко вращаться; оси их надо смазывать;

обматываемые сердечники статоров должны быть надежно закреплены на кантователях;

при нагревании обмоток перед укладкой их в пазы надо остерегаться ожога рук и поражения электрическим током;

при пользовании электродуговым паяльником следует надевать защитные очки с цветными стеклами для предохранения глаз от действия электрической дуги;

при продувке сердечников сжатым воздухом перед укладкой обмотки надо надевать защитные очки, предохраняющие глаза от попадания пыли и мелких стружек;

при пользовании стекловолокнистой изоляцией и кремнийорганическими лаками необходимо соблюдать требования промышленной санитарии.

Такелажные работы. При производстве такелажных работ необходимо соблюдать все требования техники безопасности, так как малейшее нарушение этих правил может привести к серьезным авариям и несчастным случаям с людьми.

К производству такелажных работ допускаются рабочие не моложе 18 лет, физически здоровые, прошедшие производственное обучение, сдавшие испытание квалификационной комиссии и получившие соответствующее удостоверение. Рабочий-такелажник обязан хорошо знать характеристики грузоподъемных механизмов, правила обращения с вспомогательными приспособлениями, а также инструкцию по технике безопасности.

При такелажных работах исключительно большое значение придается надежной строповке груза. Каждый рабочий-такелажник должен знать, что эти работы являются сложными и ответственными, требуют безусловного соблюдения правил и инструкций техники безопасности, дисциплины и внимания.

Для оснастки грузоподъемных механизмов широко применяют стальные и пеньковые канаты. Пеньковые канаты служат для перемещения легких, неответственных грузов и оттяжки груза при подъеме. Стальные канаты обязательно должны быть снабжены паспортом завода-изготовителя, в котором указано разрывное усилие и приведен протокол заводских испытаний. Запрещается применять канаты, имеющие оборванные и сплющенные пряди. Нельзя разбрасывать канаты по полу. Их хранят на барабанах или в бухтах. Размотку и намотку каната производят таким образом, чтобы не было петель и спиралей, так как в местах их образования пряди каната ломаются. Чтобы предохранить пряди каната от раскручивания и расслоения, концы их обвязывают мягкой проволокой на длине не менее трех диаметров.

Изготовление стропов и сплетка концов каната представляют собой сложные и ответственные операции, которые выполняют квалифицированные рабочие. Все стропы снабжают бирками, на которых указывают их грузоподъемность, даты испытания и пригодность к работе.

При подъеме или перемещении груза надо быть очень внимательным и не забывать ни одной мелочи. Нельзя оставлять на поднимаемом грузе инструменты или незакрепленные детали, так как они могут упасть и причинить людям тяжелые увечья. Прежде чем подать сигнал крановщику о подъеме груза, убеждаются в надежности его строповки.

В случае обнаружения каких-либо неисправностей груз опускают и возобновляют подъем только после их устранения.

Под поднятым грузом не должно быть людей. При подъеме груза нельзя быстро отрывать его от пола и волочить по полу, если он находится за пределами действия грузоподъемного устройства.

До начала подъема груза убеждаются, что его масса не превышает грузоподъемности механизма. Все грузоподъемные механизмы периодически осматривают и испытывают; при этом составляют акты о годности их для эксплуатации.

При строповке частей электрических машин, таких как магнитные сердечники, особенно с уложенной в них обмоткой, необходимо следить за тем, чтобы не повредить их стропами. Канаты или стропы не должны непосредственно надавливать на сердечники, а тем более на лобовые части обмоток. Поэтому для их строповки пользуются специальными приспособлениями.

Работа с электроустановками. Причинами несчастных случаев при работе с электрооборудованием могут быть:

прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением;

прикосновение к металлическим корпусам машин или аппаратов, которые оказались соединенными с обмотками;

соединение обмоток высшего напряжения трансформатора с обмотками низшего напряжения;

образование электрических искр, дуг или чрезмерное нагревание частей электрооборудования.

Чтобы повысить безопасность работы с электроустановками, применяют заземления. Заземлением называется соединение с землей металлических деталей установки, изолированных от частей, находящихся под напряжением. Все металлические корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, предохранителей заземляют.

Каждого рабочего обучают безопасным методам работы, а также правилам оказания первой помощи при поражении электрическим током. Обучение производится под руководством опытного работника.

При обмотке крупных машин, когда обмотчик работает внутри сердечника статора, необходимо пользоваться лампами местного освещения напряжением 12 В. При пользовании электроинструментами надо проявлять особую осторожность, так как опасность поражения электрическим током при этом значительно повышается.

Помещения с повышенной опасностью поражения электрическим током характеризуются одним из следующих условий: наличие сырости или проводящей пыли, токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т. д.), высокой температуры (выше 30° С), возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой. При работе в помещениях с повышенной опасностью надо соблюдать осторожность и строго следовать инструкциям по технике безопасности.

Защитными средствами от поражения током являются диэлектрические перчатки, боты, коврики и изолирующие подставки. Надежность их периодически контролируют. Для защиты глаз от ожогов и поражения электрической дугой надевают защитные очки, а для защиты рук от ожогов — рукавицы из трудновоспламеняемой ткани. Хранят защитные средства в отведенных для этого местах.

В установках напряжением 1000 В все операции выполняют по нарядам, в которых указаны условия производства работ и небходимые меры безопасности. Перед началом работы дежурный отключает оборудование от сети, убеждается в отсутствии напряжения, заземляет оборудование, ограждает место работы и вешает предупреждающие плакаты.

Работа с сушильно-пропиточных и компаундировочных цехах. При работе в сушильно-пропиточных и компаундировочных цехах особенно важно соблюдение правил техники безопасности, так как многие материалы вредны для здоровья работающих, легко воспламеняются, а пары растворителей в смеси с воздухом в определенной концентрации взрывоопасны. Поэтому следует выполнять следующие требования:

помещение необходимо систематически вентилировать;

запрещается размешивание лаков, содержащих бензол или толуол, в открытых сосудах;

перед загрузкой пропитанных частей сушильная камера должна быть продута вентилятором, работающим на выхлоп в атмосферу; после загрузки необходимо в течение 1 ч работать с продувом воздуха в атмосферу;

все электрооборудование должно быть во взрывобезопасном исполнении;

рабочие места должны быть хорошо освещены;

отработанные обтирочные материалы нужно хранить в железных ящиках с закрывающимися крышками;

запрещается мыть руки растворителями (бензином, толуолом, уайт-спиритом и т. п.);

пропиточные ванны должны закрываться крышками, и, кроме того, должны быть установлены бортовые отсосы, оборудованные вытяжной вентиляцией;

покрытие эмалями частей электрических машин надо производить в специальных камерах с вытяжной вентиляцией.

§ 95. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Причинами пожаров на производстве могут быть: несоблюдение правил обращения с открытым огнем, неисправности нагревательных печей, отсутствие защиты проводки от коротких замыканий, курение в запрещенных местах и т. п. Противопожарные мероприятия служат для предупреждения пожаров, локализации и ликвидации возникающих загораний. Противопожарные мероприятия изложены в Правилах поведения в огнеопасных местах и при пожарах. Когда по условиям

производства необходимо применение открытого огня, принимают предупредительные меры против возникновения пожара. Для локализации пожаров организуют пожарную охрану и пожарные посты, оборудованные противопожарными приспособлениями, приборами и сигнализацией.

На электромашиностроительном заводе наиболее опасным участком в отношении возникновения пожара являются сушильно-пропиточные и компаундировочные цеха.

Основные противопожарные мероприятия в этих цехах заключаются в следующем: категорически запрещается применение открытого огня в помещениях, где производится пропитка и покрытие изоляции, хранение и приготовление лаков, эмалей, растворителей, разбавителей;

категорически запрещается раскладывать одежду или какие-либо вещи на паропроводах;

должна быть предусмотрена установка для подачи пены;

работать с лакораспылителями необходимо при включенном вентиляторе;

при ремонте пропиточных котлов нужно уложить на дне резиновый коврик, чтобы в случае падения железных предметов не могла образоваться искра;

горючие смеси должны подаваться по трубопроводам через днища в пропиточных ваннах во избежание разбрызгивания;

категорически запрещается вход в сушильно-пропиточный цех посторонним лицам, о чем должны быть сделаны надписи внутри и снаружи помещения.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются задачи техники безопасности?
2. Что надо помнить при работе на станках?
3. Какие правила надо соблюдать на слесарных и обмоточных участках?
4. Как уберечься от поражения электрическим током?
5. В чем заключаются правила техники безопасности при работе в сушильно-пропиточных цехах?
6. Перечислите основные противопожарные мероприятия.

ГЛАВА XV. РЕМОНТ ОБМОТОК

§ 96. ВИДЫ РЕМОНТОВ ОБМОТОК

У 70% ремонтируемых электрических машин производится ремонт обмоток. С течением времени происходит «старение» изоляции. При этом электрические и механические свойства изоляционных материалов ухудшаются и может произойти замыкание между витками одной катушки, замыкание между проводами разных катушек и соединение проводов обмотки с корпусом машины. Характером неисправности определяется бóльшая или меньшая трудность ее нахождения, характер и технология выполнения ремонта.

Повреждения медных проводов обмотки встречаются гораздо реже, чем нарушение изоляции, и выражаются в обрывах тонких проводов, распаивании соединений проводов обмотки или отпаивании их от коллектора и выводов. Бывают случаи перегорания проводов обмотки в результате короткого замыкания. В этом случае в проводах начинают протекать большие токи и они расплавляются под действием выделяемого в них тепла или электрической дуги.

Чем раньше обнаружена причина неисправности электрической машины, тем легче ее устранить. Приведем несколько примеров.

1. Повышение сопротивления контакта одной из фаз на зажимах асинхронного двигателя можно легко устранить на месте установки. Если же этот двигатель будет работать в режиме двухфазного включения, то может сгореть обмотка статора.

2. Нарушенное соединение обмотки якоря с пластиной коллектора можно восстановить, пропаяв контакт, иногда даже не разбирая машину. Если эту неисправность не заметить вовремя, то провода обмотки расплавятся и потребуется капитальный ремонт машины.

3. В случае междувитковых замыканий в катушке статора можно отключить замкнутые витки и разомкнуть их выводы. При работе машины с замкнутыми витками расплавится часть обмотки, а в машинах большой мощности может выгореть даже участок магнитного сердечника («пожар в железе»).

4. Сопротивление изоляции обмоток, пониженное вследствие отсыревания, можно легко восстановить сушкой обмоток. Если этого не сделать, то может произойти пробой изоляции на корпус и машина выйдет из строя.

5. Разматывание бандажей или обрыв их отдельных проволок исправляют перемоткой бандажей. Если этого не сделать вовремя, то обмотка якоря поднимется из пазов и будет задевать за неподвижные части машины, что приведет к выходу машины из строя.

Из приведенных примеров ясно, что основной задачей эксплуатации электрических машин является предупреждение аварий. На основе практики эксплуатации электрических машин сложился так называемый планово-предупредительный ремонт, т. е. определенная система работ по поддержанию электрических машин в работоспособном состоянии.

Планово-предупредительный ремонт обмоток электрических машин включает следующие мероприятия: плановый осмотр, текущий (средний) ремонт, капитальный ремонт.

При *плановом осмотре* машины, который, как правило, производится без разборки ее, устраняют мелкие неполадки и устанавливают, нуждается ли обмотка в ремонте. В процессе планового осмотра проверяют качество и отсутствие нагрева контактов в коробке зажимов, исправность проволочных бандажей на лобовых частях обмотки ротора, крепление лобовых частей обмотки статора, качество пайки концов обмотки якоря с пластинами коллектора или петушками, измеряют сопротивление изоляции обмотки по отношению к корпусу.

Текущий ремонт производится по заранее установленному графику в период остановки машины. В процессе текущего ремонта машину разбирают, производят сушку и пропитку обмоток, лакировку наружных поверхностей ротора и статора, покрытие электроэмалью миканитовых манжет коллектора и лобовых частей обмотки ротора. При текущем ремонте устраняют все обнаруженные неисправности, пропаивают нарушенные контакты, устраняют междувитковые замыкания в обмотках и замыкания на корпус. При частичном или полном старении изоляции заменяют катушки или перематывают всю обмотку.

Капитальный ремонт обмоток заключается в полной перемотке статора или ротора, замене коллектора или контактных колец. При капитальном ремонте машин старых типов часто модернизируют их обмотки. Например, заменяют концентрические однослойные обмотки статора двухслойными с укороченным шагом, что способствует повышению эксплуатационных свойств электрических машин трехфазного тока заменяют изоляцию обмоток другой с более высокой нагревостойкостью, что повышает надежность работы машины.

Характер ремонта определяется не только видом неисправности, но и конструкцией обмотки. Например, в полюсных катушках или концентрических однослойных обмотках неисправную катушку или катушечную группу заменяют новой, вынув старую из пазов. В двухслойных обмотках для замены неисправной катушки необходимо вынуть из пазов число катушек, равное шагу обмотки по пазам, иначе нельзя вынуть неисправную катушку. При выемке из пазов могут быть повреждены и другие катушки, поэтому часто вместо одной катушки приходится заменять несколько катушек.

В машинах малой мощности, у которых обмотка выполнена из тонкого провода и пропитана, редко удается произвести ее частичный ремонт, так как провода склеены пропиточным лаком и вынуть их из пазов можно, только разрезав лобовые части катушек на одной стороне статора. Таким образом, вместо частичного ремонта приходится заменять всю обмотку.

В процессе ремонта машин, на которые нет чертежей и схем, обмотчику часто приходится сталкиваться с новыми трудностями. Нельзя производить частичный ремонт обмотки, не разобравшись в ее схеме, не определив класса изоляции, числа параллельных ветвей и параллельных проводов в катушках. Ремонтные работы являются для обмотчиков наиболее трудными; кроме производственных навыков, они требуют теоретических знаний. При восстановлении обмотки обмотчик должен знать весь технологический процесс ее выполнения, который при серийном производстве расчленен на многие операции, выполняемые рабочими различных профессий и часто даже в разных цехах. Наибольшую ответственность накладывает на обмотчика ремонт крупных машин на месте их установки, где обмотчик должен выполнять все операции самостоятельно. Такие работы поручают опытным обмотчикам высокой квалификации.

Повреждения обмоток электрических машин нельзя рассматривать в отрыве от состояния других их частей. Например, при заедании подшипников электродвигатель попадает в режим короткого замыкания, когда статор подключен к сети, а ротор не вращается. При этом по обмотке протекает ток, в несколько раз превышающий номинальный, обмотка сильно нагревается и изоляция ее обугливается. Чрезмерный нагрев коллектора машины постоянного тока вследствие неисправности щеточного аппарата может вызвать распаивание соединений обмотки якоря с коллектором. Задевание ротора за статор при чрезмерном износе подшипников скольжения неизбежно сопровождается повреждением сбмоток. Если наружная поверхность двигателя и решетки для забора охлаждающего воздуха загрязнены, то это ухудшает охлаждение и ускоряет старение изоляции. Нарушение изоляции листов сердечников влечет за собой усиленный нагрев, при котором изоляция обмотки может обуглиться. Из этих примеров видно, что исправное состояние и хорошая работа обмоток зависят от ряда факторов, которые как будто прямого отношения к обмотке не имеют. Их необходимо принимать во внимание при определении неисправности поступившего в ремонт двигателя.

§ 97. ПОДГОТОВКА К РЕМОНТУ ОБМОТОК

Перечень материалов, необходимых для ремонта обмоток, вносится в паспорт электрической машины. Подготовка к ремонту обмоток заключается в своевременной заготовке обмоточных проводов соответствующих марок и размеров, изоляционных и вспомогательных материалов, пропиточных и покровных лаков. Мероприятия по подготовке к ремонту обеспечивают скоростной ремонт обмоток. Подготовка к ремонту обмоток сильно затруднялась существовавшим многообразием типов электрических машин. Внедрение единых серий асинхронных двигателей, синхронных машин и машин постоянного тока резко сократило номенклатуру электрических машин, находящихся в эксплуатации. Ко времени пуска в производство первой единой серии асинхронных двигателей типов А и АО двигатели старых серий уже износились.

В старых сериях асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт было много типов обмоток, несколько марок и сотни размеров обмоточных проводов, десятки сортов изоляционных материалов. В единых сериях применена одинаковая конструкция и технология обмоток, что позволяет организовать на ремонтных заводах производство по образцу электромашиностроительных заводов. Ремонтные заводы имеют обмоточные данные всех двигателей единых серий. Это дает возможность заранее заготовить катушки обмоток, нарезать комплекты изоляции, подготовить пазовые клинья и вспомогательные материалы.

Поступающие в ремонт электрические машины направляются со склада на разборочно-дефектировочный участок ремонтного завода. Прежде чем разобрать машину, ее испытывают для определения характера неисправности и объема ремонта. Для этого участок оборудован распределительным щитом управления электрическими испытаниями. При дефектировке и составлении дефектировочной карты особое внимание уделяют обмоткам. После этого машину разбирают, механические детали промывают керосином, а обмотанные детали продувают сжатым воздухом, обтирают и направляют в обмоточное отделение для ремонта.

Обмоточное отделение состоит из заготовительного, обмоточного и пропиточного участков.

На заготовительном участке режут изоляцию, гнут и прессуют пазовые гильзы, заготовляют пазовые клинья, наматывают катушки всыпных обмоток, гнут, формуют и изолируют жесткие катушки и стержни, наматывают и изолируют полюсные катушки.

На обмоточном участке разматывают и сбматывают магнитные сердечники, заменяют неисправные катушки новыми или полностью перематывают статоры, роторы и якоря. На этом же участке наматывают бандажи, паяют головки стержневых обмоток и выводов обмотки якоря с коллектором. Окончив обмотку и пропитку, роторы и якоря передают на слесарный участок для балансировки.

На пропиточном участке приготовляют пропиточные составы, пропитывают и сушат отдельные катушки обмотки и обмотанные статоры, роторы и якоря в зависимости от рода обмотки. Эти участки должны быть оборудованы ваннами для пропитки и сушильными камерами, соответствующими размерам пропитываемых деталей. Обмотанные и пропитанные сердечники поступают на сборочный участок, где производится сборка машин после ремонта. Собранные машины передают на испытательную станцию.

§ 98. РЕМОНТ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА

Всыпные обмотки применяются в статорах асинхронных и синхронных машин мощностью до 100 кВт. Это самые распространенные типы двигателей. Об объеме ремонтных работ можно судить по тому, что только асинхронных двигателей ремонтируется более 5 млн. в год.

У каждого двигателя, поступившего в ремонт, прежде всего определяют характер неисправности. Иногда в ремонт попадают двигатели с исправными обмотками, которые были неправильно включены в сеть

трехфазного тока вследствие ошибочной маркировки выводов обмотки статора. Поэтому прежде всего необходимо проверить правильность маркировки выводов. Неправильная маркировка выводов приводит к тому, что фазы обмотки имеют несимметрию. При этом двигатель плохо разворачивается и сильно гудит; токи в фазах различны, а при холостом ходе ток превышает величину номинального тока двигателя, указанную на табличке.

В двигателях малой мощности нет дощечки зажимов, а выводы выполнены гибкими проводами с напаянными наконечниками. На выводы надеты бирки с обозначениями по ГОСТ 183—66. Потеря нескольких бирок, или, что еще хуже, ошибочная маркировка выводов приводят к неправильному включению обмотки двигателя в сеть, при котором одна из фаз оказывается «перевернутой». Это может получиться, например, при соединении в звезду, если соединены в общую точку начала двух фаз с концом третьей фазы. Существует несколько методов определения маркировки выводов обмотки статора при отсутствии на них бирок.

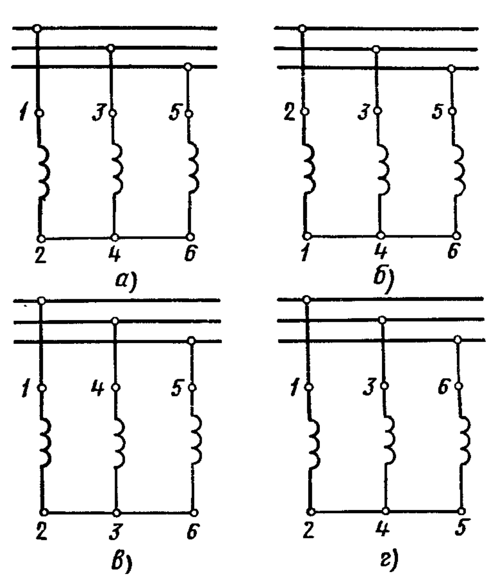


Рис. 205. Определение маркировки выводов методом пробных включений:
а—г — варианты включений

При шести выводах обмотки статора применяют метод пробных включений (рис. 205). Сначала при помощи контрольной лампы определяют выводы отдельных фаз и разделяют их попарно. Но при этом неизвестно, какой вывод в каждой паре является началом и какой концом фазы. Поэтому к ним произвольно привязывают картонные бирки с номерами *1—2* для первой фазы, *3—4* для второй и *5—6* для третьей. Соединяют в общую точку выводы с бирками *2*, *4* и *6*, а к выводам *1*, *3* и *5* подводят трехфазный ток пониженного напряжения (рис. 205, *а*). Если двигатель работает плохо, сильно гудит, токи фаз неодинаковы и превышают номинальное значение, то меняют местами выводы *1* и *2*, т. е. соединяют в общую точку выводы *1*, *4*, и *6* (рис. 205, *б*). Если при таком соединении неисправность двигателя не устраняется, то выводы первой фазы снова соединяют, как в в первый раз, а меняют местами выводы второй фазы (рис. 205, *в*). Если и при таком соединении двигатель работает плохо, то выводы второй фазы снова соединяют, как на рис. 205, *б*, а меняют местами выводы третьей фазы (рис. 205, *г*). Теперь двигатель должен работать нормально.

В рассмотренном примере потребовалось четыре пробных включения, потому что были перепутаны начало и конец третьей фазы. Правильное соединение можно было бы найти и при меньшем числе пробных включений, если бы были перепутаны выводы первой или второй фазы. Если ни при одном из пробных включений неисправность двигателя не устраняется, значит перепутаны выводы не какой-либо фазы, а только одной или нескольких катушек. В этом случае надо, питая фазу постоянным током, проверить полярность катушечных групп магнитной стрелкой.

Метод пробных включений сложен и может быть применен лишь для двигателей в собранном виде с исправными подшипниками. Маркировку выводов можно определить и проще, имея аккумулятор напряжением 2В и милливольтметр (рис. 206). Аккумулятор подключают к выводам одной из фаз, считая условно, что плюс соединен с началом *Н* фазы, а минус — с ее концом *К*. К выводам двух других фаз поочередно присоединяют милливольтметр. Если теперь разорвать цепь тока рубильником, то милливольтметр покажет плюс на началах и минус на концах фаз. При включении тока рубильником полярность на двух фазах будет обратная.

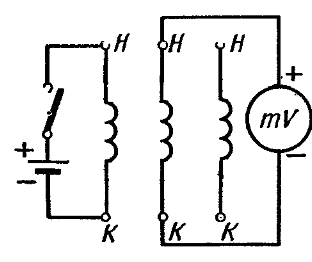


Рис. 206. Определение маркировки выводов милливольтметром

При использовании этого метода следует иметь в виду, что на зажимах фаз может появиться напряжение выше номинального, поэтому надо взять милливольтметр на повышенное напряжение и принять меры предосторожности против поражения электрическим током.

В двигателях с фазным ротором проверку маркировки выводов статорной обмотки можно произвести следующим образом. Обмотку статора размыкают, а к контактным кольцам ротора подводят напряжение трехфазного тока, не превышающее номинального напряжения ротора, которое указано на щитке. При таком питании двигатель с неподвижным ротором подобен трансформатору, первичной обмоткой которого является обмотка ротора, а вторичной— обмотка статора. Включив ток в обмотку ротора, измеряют напряжения на зажимах статора. При правильной маркировке напряжения на зажимах статора будут симметричными. Во время испытаний необходимо учитывать, что при питании одной из обмоток на второй может появиться опасное напряжение.

Всыпные обмотки статора выполняются из тонких круглых проводов, поэтому в них могут быть неисправности, которые несвойственны обмоткам из жестких катушек. К таким неисправностям относятся обрывы, междувитковые замыкания, замыкания между обмотками разных фаз и обмоток на корпус.

Обрыв в одной из фаз обмотки статора, соединенной в звезду, ведет к тому, что ротор при пуске не разворачивается. Если обрыв произошел во время работы двигателя, то ротор будет продолжать вращаться, но скорость вращения при номинальной нагрузке понижается, а ток

значительно повышается. Это при отсутствии соответствующей защиты двигателя от перегрузки может вызвать повреждение изоляции обмотки.

Для определения обрыва в цепи статора пользуются мегомметром. Двигатель отключают от сети и измеряют сопротивление попарно между зажимами *1*, *2* и *3* (рис. 207, *а*) отключенного от сети рубильника. При обрыве в фазе *2* измерение на зажимах *1—3* покажет нуль, т. е. наличие металлического соединения, а измерения на зажимах *1—2* и *2—3* покажут сопротивление изоляции участка сети и обмоток двигателя.

Теперь надо определить, где произошел обрыв — в сети или в обмотке двигателя. Для этого отсоединяют провода сети от зажимов двигателя и мегомметром измеряют сопротивления на зажимах *1*, *2* и *3* попарно (рис. 207, *б*). При внутреннем обрыве в фазе *2* измерение на зажимах *1—3* покажет нуль, а на зажимах *1—2* и *2—3* — сопротивление изоляции между обмотками фаз. Установив, в какой фазе имеется обрыв, находят, в какой катушке фазы он произошел. Для этого выводы неисправной фазы подключают к сети с напряжением не выше фазного напряжения и вольтметром измеряют напряжение на выводах каждой катушки или катушечной группы. При измерении напряжения на выводах катушки с обрывом вольтметр покажет подводимое напряжение, а на выводах исправных катушек — нуль. Чтобы не приходилось снимать изоляцию с междукатушечных соединений, пользуются острыми щупами, которыми прокалывают изоляцию. Окончив измерения, заклеивают проколы изоляции покровным лаком. Для безопасности работы щупы должны иметь рукоятки из изоляционного материала.

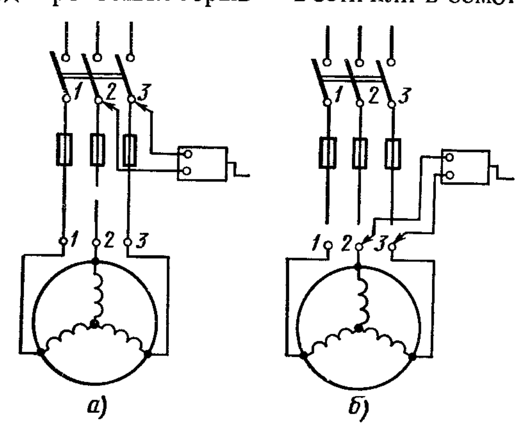


Рис. 207. Нахождение места обрыва:
а — в сети, *б* — в обмотке статора

Обрыв в одной из фаз обмотки статора, соединенной в треугольник, труднее обнаружить в процессе эксплуатации. В этом случае получается так называемый открытый треугольник, при котором сбразуется вращающееся поле и ротор двигателя при включении разворачивается. Но так как работают только две фазы, мощность двигателя понижается. Если измерить токи в фазе, то они будут различными, а скорость вращения ротора ниже номинальной. При номинальной нагрузке двигателя ток в одной из фаз на 73% больше, чем в двух других фазах. Обмотка фазы, имеющей обрыв, при работе двигателя не нагревается, она остается холодной.

Если обмотка имеет шесть выводов, то разъединяют общие точки и

и измеряют сопротивления каждой фазы мегомметром (рис. 208, *а*). При измерениях фаз, не имеющих обрывов, мегомметр покажет нуль, а на зажимах третьей фазы, в которой имеется обрыв, мегомметр покажет сопротивление изоляции между обмотками. При измерении мегомметров следует учесть, что на зажимах фаз может образоваться повышенное напряжение.

Если обмотка статора имеет только три вывода (рис. 208, *б*), то обнаружить фазу, имеющую обрыв, можно измерением сопротивления обмоток по методу амперметра и вольтметра или мостом при питании каждой фазы постоянным током. При измерении между точками *1* и *2*, а также между точками *2* и *3* величины сопротивлений будут одинаковыми, а при измерении между точками *1* и *3*, при обрыве в фазе *3*, сопротивление будет равно сумме сопротивлений обмоток двух фаз. При отсутствии моста и источника постоянного тока надо поочередно питать обмотку каждой фазы переменным током номинального напряжения и при каждом опыте измерять величину потребляемого тока. При подключении питания к зажимам *1—2* и *2—3* (рис. 208, *б*) ток будет больше, чем при подключении питания к зажимам *1—3*.

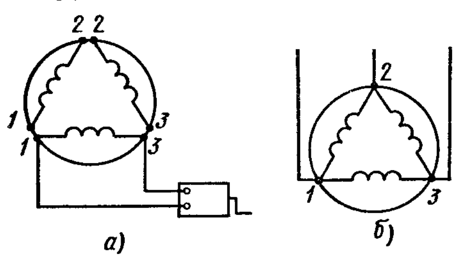


Рис. 208. Нахождение места обрыва в обмотке статора, соединенной в треугольник:
а — при шести выводах, *б* — при трех выводах

Междувитковые замыкания в катушках, замыкания между обмотками фаз и обмоток на корпус были рассмотрены гл. XI.

§ 99. РЕМОНТ ОБМОТОК СТАТОРА ИЗ ЖЕСТКИХ КАТУШЕК

Статорные обмотки из жестких катушек, намотанных из прямоугольного провода, применяют в двигателях мощностью выше 100 кВт. В этих обмотках не бывает обрывов. Междувитковые замыкания также встречаются редко, так как прямоугольные провода имеют усиленную изоляцию. В этих машинах выводы обмоток статора выведены на дощечку зажимов, поэтому исключается перепутывание начал и концов фаз. Основными видами неисправностей являются замыкания между катушками разных фаз и соединение обмотки с корпусом, а также старение изоляции.

Последовательность операций при замене катушки с пробитой изоляцией следующая. Чтобы вынуть поврежденную катушку, поднимают из пазов верхние стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. Для этого снимают изоляцию междукатушечных и междуфазовых соединений, бандажи, которыми лобовые части прикреплены к бандажным кольцам, удаляют распорки между лобовыми частями и распаивают соединения по шагу обмотки. Катушки, которые нужно под-

нять из пазов, разогревают пропусканием постоянного тока до момента, когда температура на их поверхности станет 75—90°С. После этого поднимают верхние стороны катушек по шагу обмотки при помощи деревянных клиньев, осторожно отгибают их внутрь статора и привязывают к лобовым частям уложенных катушек киперной лентой.

Затем вынимают из пазов катушку с пробитой изоляцией и осматривают пазы статора. Если в пазах обнаруживают заусенцы, их снимают напильником и продувают пазы сжатым воздухом из шланга. В пазы вкладывают новую катушку, нагретую до 75—90°С и осаживают ее легкими ударами молотка по деревянной осадочной доске, приложенной к катушке по всей длине пазовой части. Лобовые части катушки рихтуют деревянным молотком. Нижние стороны лобовых частей привязывают к бандажным кольцам крученым шнуром. Между лобовыми частями забивают дистанционные прокладки. В случае повреждений покровной ленты на верхних сторонах катушек ленту снимают и вновь изолируют лобовые части.

После этого опускают в пазы поднятые катушки, выравнивая выводы в горячем состоянии. Пазы заклинивают с двух сторон статора одновременно. Испытывают электрическую прочность корпусной и витковой изоляции уложенной обмотки. (В случае пробоя изоляции снова производят ремонт, однако каждую катушку можно поднимать из пазов не более трех раз.) Затем паяют и изолируют соединения и всю обмотку пофазно испытывают на пробой изоляции между витками и относительно корпуса. Поверхность статора покрывают лаком.

§ 100. РЕМОНТ ОБМОТОК РОТОРА

Единая серия асинхронных двигателей в пределах мощностей от 1 до 100 кВт выпускается главным образом с короткозамкнутым ротором, залитым алюминием. Эти обмотки выполняются вне обмоточных цехов, и ремонтом их обмотчики не занимаются. Однако некоторая часть двигателей типа АК выпускается с контактными кольцами и с фазными роторами, имеющими обмотки петлевого типа, намотанные из прямоугольного провода.

В двигателях мощностью выше 100 кВт фазные роторы выполняются со стержневыми обмотками. В стержневых обмотках ротора могут быть плохие контакты в соединениях стержней и короткие замыкания в цепи ротора.

Если в цепи ротора имеется плохой контакт, то двигатель с нагрузкой плохо разворачивается и не достигает номинальной скорости вращения; двигатель гудит и ток в обмотке статора сильно пульсирует; наблюдается сильный нагрев ротора, а иногда и статора.

Чтобы выявить плохие контакты в соединениях стержней роторов, их тщательно осматривают. Плохие контакты в местах пайки стержней ротора обнаруживают методом падения напряжения. Он основан на том, что при плохой пайке увеличивается падение напряжения в месте контакта. На рис. 209 показана схема проверки качества контакта. К двум стержням обмотки при помощи щупов *2* подводят постоянный

ток от аккумуляторной батареи вблизи хомутика *3*. Другой парой щупов *1* измеряют падение напряжения милливольтметром *mV*. Для ограничения и регулирования тока в цепь включен реостат *4*. Ток подбирают такой, чтобы получить достаточные по величине показания милливольтметра. Измерения повторяют по каждой паре стержней.

Если двигатель с фазным ротором начинает вращаться даже при разомкнутой цепи ротора, то это указывает на наличие короткого замыкания в цепи ротора или на контактных кольцах.

В обмотках из тонкого провода могут быть обрывы. При обрыве в одной фазе ротор двигателя при пуске вращается с половинной скоростью и сильно гудит.

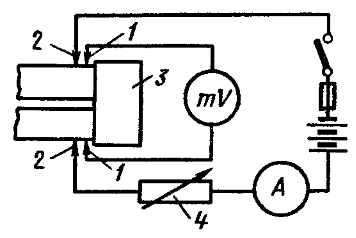


Рис. 209. Схема проверки качества контакта в стержневой обмотке

При ремонте обмотки, прежде чем вынимать катушечные группы из пазов, выясняют ее схему, расположение начал и концов фаз на роторе, а также расположение соединений между катушечными группами. Изменение схемы соединений в процессе ремонта даже при соблюдении условий симметрии обмотки может привести к нарушению балансировки ротора. Однако небольшое нарушение балансировки ротора может произойти и при сохранении схемы. Поэтому в конце ремонта ротор необходимо отбалансировать. Для укрепления балансировочных грузов у двигателей типа АК предусмотрены штампованные кольцевые ободки.

При ремонте стержневых обмоток нужно составить схему обмотки ротора, отметив шаги обмотки со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, расположение начал и концов фаз и перемычек. На концах стержней после зачистки выбивают номера пазов, из которых стержни были вынуты. На роторе отмечают характерные для схемы пазы, выбивая номера на поверхности ротора, чтобы при сборке обмотки после ремонта не нарушить симметрии. Записав технические данные обмотки, составляют таблицу. Если обмоточные данные не сходятся с таблицей, то выполняют схему соединений обмотки и проверяют, удовлетворяет ли она требованиям электрической симметрии. При этом могут быть обнаружены ошибки, допущенные при снятии схемы с обмотанного ротора.

Для ремота обмотки ротор надо установить на прочные козлы, желательно с роликовыми опорами, что намного облегчит поворот ротора при размотке и обмотке. Если нет роликовых опор, ротор опирают шейками вала на деревянные подшипники, на которые кладут листовой свинец и густо смазывают его тавотом. Необходимо проверить горизонтальность вала, чтобы при поворачивании ротор не сдвигался в осевом направлении, иначе ротор может упасть с козел.

Устанавливают причину и характер неисправности и решают вопрос о частичной смене обмотки или об общей перемотке в зависимости от состояния изоляции. В обоих случаях должны быть использованы медные стержни обмотки, поэтому при разгибании лобовых час-

тей надо обращаться с ними осторожно. Размотку бандажей производят так, чтобы проволока могла быть снова использована. Ее сматывают на деревянный барабан, не допуская перехлестывания и образования барашков. Чтобы очистить проволоку от наплывов припая, ее нагревают и протирают тряпкой с канифолью.

Хомутики распаивают паяльной лампой или электродуговым паяльником. Снятые хомутики осматривают и решают вопрос об их повторном использовании. Затем концы стержней очищают от наплывов припоя, иначе их будет трудно вытащить из пазов. После этого приступают к разгибанию лобовых частей с одной стороны ротора. При этом снимают размеры как нормальных, так и удлиненных или укороченных стержней. При разгибании нельзя сразу выпрямить лобовую часть первого стержня, так как рядом с ним находятся лобовые части других стержней. Поэтому первый стержень разгибают лишь настолько, насколько позволяет расстояние между стержнями. Второй стержень может быть разогнут на двойную величину, третий — на тройную и т. д. Так обходят окружность ротора до тех пор, пока лобовые части не станут прямолинейными.

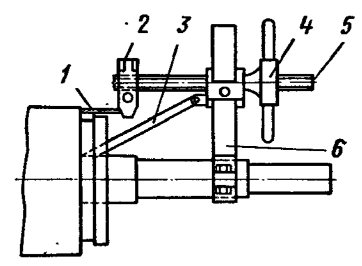


Рис. 210. Приспособление для вытаскивания стержней из пазов

Для вытаскивания стержней из пазов применяют специальные приспособления. На шейке вала, обернутой картоном, устанавливают и затягивают болтами хомут *6* приспособления (рис. 210). Распорка *3* служит для того, чтобы приспособление не сдвигалось вдоль вала. Конец стержня *1* закрепляют в зажиме *2* и начинают вращать за рукоятки гайку *4*. При этом винт *5* движется поступательно и тянет за собой стержень. Винт соединен с хомутом шпонкой, что предохраняет его от проворачивания. Вытащив из пазов все стержни, осматривают сердечник ротора, так как при разборке и транспортировке листы могут быть погнуты. Зубцы ротора выправляют стальными оправками.

При разгибании стержни становятся хрупкими и при повторном загибании могут образоваться трещины. Поэтому, сняв изоляцию, стержни отжигают, нагрев их до 400° С и охладив в воде. Поврежденные стержни заменяют новыми. При отсутствии провода соответствующего размера трещины запаивают твердым припоем. Мелкие повреждения, выгоревшие места, если они не превышают 5% сечения стержня, можно наплавить мягким припоем, чтобы защитить гильзы от разрывов краями углубления в стержне.

Стержни сортируют на верхние, нижние, удлиненные или укороченные и перемычки. После изолировки стержни укладывают согласно выбитым номерам. При укладке каждый стержень должен быть вставлен в тот же паз, из которого он был вынут, иначе некоторые стержни могут оказаться слишком короткими и не будет выдержан шаг обмотки.

§ 101. РЕМОНТ ОБМОТОК ЯКОРЯ

При ремонте якоря могут наблюдаться все виды неисправностей, которые встречаются при испытаниях якорей в цехе электромашиностроительного завода. К ним относятся: соединения обмотки с корпусом, междувитковые замыкания, обрывы в обмотке и неправильные соединения ее выводов с коллектором.

Средства для обнаружения неисправностей, которыми пользуется обмотчик при ремонте, зависят от условия работы. Если ремонт производится в обмоточном цехе крупного электроремонтного завода, то при ремонте применяют те же испытательные аппараты, которые были описаны в гл. XV. В маленьких ремонтных мастерских или при выездных работах пользуются упрощенными методами проверки обмоток, частично описанными в этой главе.

В основном процесс перемотки выполняется так же, как и при обмотке новых якорей, поэтому рассмотрим только особенности некоторых ремонтных операций.

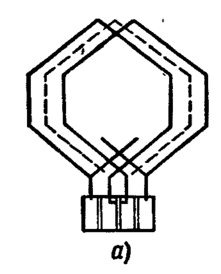
Соединение обмотки с корпусом является следствием старения изоляции, механических повреждений ее листами якоря, протирания пазовой изоляции в случае перемещений катушки относительно стенок паза или соединения пластин коллектора с корпусом. Если обмотка соединена с корпусом в одной точке, то это не сказывается на работе машины. При незаземленном корпусе соединение обмотки с ним будет ощущаться при прикосновении к нему; как говорят, корпус «бьет на землю». Поэтому согласно правилам техники безопасности все промышленные электродвигатели имеют заземленные корпуса.

Наличие одного соединения повышает вероятность пробоя изоляции в другом месте, так как толщина изоляции, выдерживающей рабочее напряжение машины, стала вдвое меньше. Как только обмотка соединится с корпусом в другом месте, часть ее между этими точками окажется замкнутой накоротко, появится сильное искрение на коллекторе, а из якоря пойдет дым вследствие обугливания изоляции. Эти же явления будут наблюдаться и при соединении обмотки с корпусом в одной точке, если имеется заземление в сети.

Соединение с корпусом можно обнаружить, не разбирая машины. Для этого надо взять контрольную лампу и один провод присоединить к валу, а другим поочередно касаться коллекторных пластин. В однократно замкнутой обмотке контрольная лампа загорится при соединении с любой коллекторной пластиной. В машинах с обмоткой из многовитковых катушек лампа будет гореть более ярко при касании с той пластиной, которая присоединена к катушке, имеющей соединение с корпусом. Однако контрольной лампой можно обнаружить только такое соединение с корпусом, при котором имеется металлический контакт. Поэтому лучше пользоваться мегомметром, стрелка которого покажет соединение обмотки с корпусом при окислившемся или подгоревшем контакте между ними.

Иногда соединение с корпусом устанавливается при вращении якоря, а при остановке якоря пропадает, так как между проводом обмотки и пластинами якоря образуется воздушный промежуток.

Соединение происходит под действием центробежной силы, перемещающей обмотку в пазу при вращении. Обычно это наблюдается в машинах, у которых провода обмотки слишком свободно лежат в пазах. В таких случаях после разборки машины присоединяют к валу и коллектору провода от контрольной лампы и поочередно покачивают деревянным клином лобовые части катушек в местах выхода их из пазов, так как это самое вероятное место замыкания обмотки на углы зубцов якоря. Катушку, соединенную с корпусом, можно обнаружить по миганию контрольной лампы. Если лампа не загорается, то повторяют опыт, вращая ручку мегомметра и следя за его стрелкой. Убедившись в том, что обмотка соединена с корпусом, определяют место соединения. Это можно сделать при помощи щупов (см. рис. 174). Чтобы определить положение на якоре мест соединения с корпусом, нужно знать тип обмотки, так как для петлевой и волновой обмоток методы проверки различны.



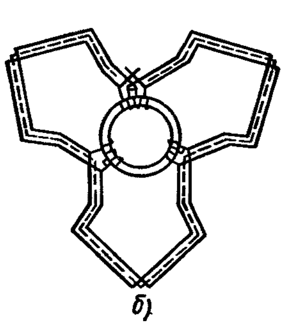


Рис. 211. Отключение секции, соединенной с корпусом:

а — в петлевой обмотке, *б* — в волновой обмотке

Если якорь имеет петлевую обмотку, питание постоянным током производится через две пластины, находящиеся на противоположных точках окружности коллектора. В качестве источника постоянного тока может служить аккумуляторная батарея, а при отсутствии ее — сеть постоянного тока напряжением 110 или 220 В. Ток регулируется реостатом в пределах 5—10 А. Один из проводов милливольтметра с пределом измерений 15—45 мВ присоединяют к валу, а другим поочередно касаются коллекторных пластин. По мере приближения к пластине, соединенной с корпусом, показания милливольтметра будут уменьшаться, а на этой пластине он должен показать нуль. При отсутствии металлического контакта показания милливольтметра на соединенной с корпусом пластине коллектора будут минимальными, а затем снова начнут увеличиваться.

Обнаружив катушку, соединенную с корпусом, находят место соединения и изолируют его. Часто соединения наблюдаются в местах выхода катушек из пазов, когда изолированная поверхность обмоткодержателей ниже дна паза. Изоляция катушек, не имеющих снизу опоры, нарушается под давлением бандажа. В таких случаях устраняют соединения, забивая на дно паза прокладки из гетинакса при снятых с лобовых частей бандажах.

Если одна секция катушки соединена с корпусом, то можно отключить ее от обмотки, не вынимая из пазов. Для этого выводы секции отсоединяют от коллекторных пластин и изолируют, а между пластина-

ми на торцовой стороне впаивают медную пластинку, чтобы не было обрыва в обмотке (рис. 211, *а*). При большом числе пластин коллектора это не скажется на работе машины.

Если якорь имеет волновую обмотку, то питание его постоянным током должно производиться через две коллекторные пластины, находящиеся на расстоянии половины коллекторного шага. В четырехполюсной машине эти пластины находятся на расстоянии четверти окружности коллектора. Милливольтметр подключают одним концом к валу, а другим поочередно ко всем пластинам. При этом не надо обходить всю окружность коллектора, достаточно проверить напряжение между валом и пластинами, заключенными в шаге обмотки по коллектору. Меньшие показания милливольтметра будут на пластинах, имеющих соединение с корпусом или соединенных с ним секциями обмотки.

Определив наличие соединения в обходе обмотки, можно путем деления обхода на секции определить и секцию, соединенную с корпусом. При соединении с корпусом одной секции в волновой обмотке придется отключить весь обход обмотки, состоящий из p последовательно соединенных секций (p — число пар полюсов). На рис. 215, *б* показаны секции волновой обмотки, соединенной с корпусом.

Междувитковые замыкания могут появиться в результате повреждения изоляции провода или катушки. В первом случае будут замыкания между витками одной катушки, во втором — между соседними катушками.

В обмотке якоря протекает переменный ток. В замкнутых витках образуются очень большие токи, так как сопротивление катушки мало. Признаком междувитковых замыканий является нагрев обмотки, который вызывает распаивание соединений с коллектором и обугливание изоляции. При длительной работе машины с короткозамкнутыми витками происходит их выгорание и образуется электрическая дуга, которая может оплавить и листы сердечника якоря. При междувитковых замыканиях появляются большие уравнительные токи, создающие сильное искрение на коллекторе.

Короткозамкнутые витки могут быть обнаружены аппаратами типов СМ и ЕЛ. При большом числе междувитковых замыканий обмотка должна быть перемотана с заменой изоляции. Если число замкнутых секций невелико, а машину нужно срочно выпустить из ремонта, можно отключить замкнутые секции. На рис. 212, *а* показан замкнутый виток четырехвитковой секции обмотки якоря; на рис. 212, *б* пунктиром показаны отключенные витки, концы которых изолированы во избежание образования короткозамкнутых контуров на якоре. Пришлось отключить два витка вместо одного, чтобы в оставшейся части секции не было короткозамкнутых контуров.

Причина междувитковых замыканий может заключаться не только в нарушении изоляции катушек. При паянии коллектора или бандажей капля припоя может попасть внутрь коллектора и с течением времени замкнуть две его пластины. По схемам обмоток легко установить, что при петлевой обмотке замыкание двух соседних коллекторных пластин вызовет короткое замыкание одной секции обмотки, подключен-

ной к этим пластинам. При волновой обмотке будет замкнут накоротко целый обход обмотки, состоящий из p последовательно соединенных секций. Замыкание между пластинами коллектора может быть обнаружено только после отпайки верхнего слоя концов секций.

Обрывы в обмотках якоря бывают двух видов. В обмотках из тонкого провода при сильном натяжении бандажей и отсутствии у лобовых частей опоры со стороны обмоткодержателей могут оборваться провода обмотки. В обмотках из прямоугольного провода обрыв в цепи обмотки якоря происходит вследствие распаивания соединений с коллектором, а в разрезных обмотках — также распаивания хомутиков, соединяющих верхние и нижние стержни со стороны, противоположной коллектору.

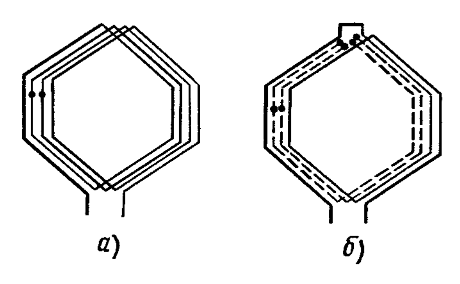


Рис. 212. Секции с замкнутым витком:
а — замкнутый виток, *б* — отключение витков

У генераторов с обрывами в обмотке якоря затруднен процесс самовозбуждения, а двигатели имеют пониженную скорость вращения. В обмотке в местах обрывов образуются электрические дуги, которые могут вызвать расплавление не только проводов обмотки, но и листов сердечника якоря. Пока имеются плохие контакты в местах паяния обмоток из прямоугольного провода, все эти признаки проявляются не сильно. Но если такая машина не будет вовремя остановлена для ремонта, то произойдет полное нарушение контактов. Если обмотка имеет уравнительные соединения, то подгорят не только пластины коллектора, соединенные с оборванной секцией, но и другие связанные с ними уравнительными соединениями. В волновой обмотке при одном обрыве подгорит p пластин, соединенных одним обходом обмотки. Чтобы найти место обрыва, пользуются аппаратами СМ и ЕЛ. Можно найти обрыв и при помощи щупов. При соединении щупов с пластинами, соединенными с секцией, имеющей обрыв, милливольтметр покажет нуль.

В случае обрыва в одной секции обмотки она может быть отключена, так же как секции, соединенные с корпусом. Схема отключения показана на рис. 213. Между пластинами коллектора впаяна перемычка.

Неправильные соединения выводов обмотки с коллектором имеют много разновидностей: наиболее часто встречающиеся из них в петлевых обмотках показаны на рис. 214. Неправильные соединения встречаются в обмотках из тонкого провода, так как концы катушек из прямоугольного провода невозможно поменять местами при укладке их в прорези коллекторных пластин.

На рис. 214, *а* показан так называемый простой «крест», при котором концы секций поменялись местами. Э. д. с. такой секции направлена встречно по отношению к соседним секциям, что вызывает искрение на коллекторе. Ввиду нарушения симметрии появляются уравнительные токи между параллельными ветвями обмотки. Эта неисправность

не может быть выявлена щупами, так как напряжение между коллекторными пластинами *3* и *4* остается таким же, как и при правильно соединенных секциях.

Для обнаружения креста в петлевой обмотке к двум противоположным пластинам коллектора подводят постоянный ток и обводят якорь магнитной стрелкой. Стрелку подводят к каждому пазу. Если секция включена неправильно, то стрелка повернется другим концом по сравнению с ее положением относительно пазов с правильно соединенными секциями обмотки. Если же кресты сделаны у всех секций обмотки, то это равносильно замене левой обмотки правой, или наоборот. Генератор с такой неисправностью не может самовозбудиться,

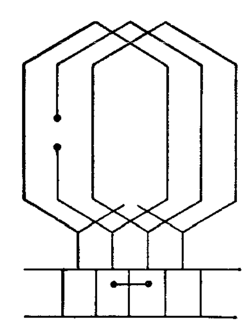


Рис. 213. Схема отключения секции, имеющей обрыв

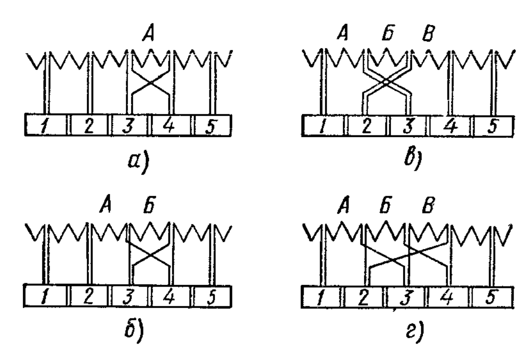


Рис. 214. Неправильные соединения выводов обмотки с коллектором:

а — простой крест, *б* — двойное перекрещивание, *в*, *г* — тройное перекрещивание

а электродвигатель будет вращаться в обратную сторону. Чтобы машина восстановила свои свойства, нужно изменить полярность полюсов, т. е. направление тока в обмотке возбуждения.

На рис. 214, *б* конец секции *А* вместо пластины *3* присоединне к пластине *4*, а конец секции *Б* вместо пластины *4* присоединен к пластине *3*. При такой ошибке в соединениях секция *Б* окажется замкнутой накоротко. При проверке якоря щупами милливольтметр не покажет напряжения между парами пластин *2—3* и *3—4*, так как пластина *3* окажется как бы изолированной. Это можно обнаружить и контрольной лампой, которая покажет обрыв между этими парами пластин. Напряжения между коллекторными пластинами может не быть также при междувитковых замыканиях. Поэтому, чтобы различить эти два дефекта, нужно измерить напряжение между пластинами *2* и *4*. Если прибор покажет между ними такое же напряжение, как и между другими пластинами, это означает, что перепутаны концы.

На рис. 214, *в* перепутаны концы трех секций *А*, *Б* и *В*. Это может произойти только в ручных обмотках, когда поменялись местами две петли, вкладываемые в прорези коллекторных пластин. При проверке якоря щупами с питанием через две противоположные коллекторные пластины стрелка милливольтметра, подключенного к пластинам *2—3*, отклонится в обратную сторону, а на парах пластин *1—2* и *3—4*

будет примерно двойное напряжение по сравнению с другими парами пластин.

На рис. 214, *г* изображен другой случай перепутывания концов в ручных обмотках. Конец секции *А* скручен в петлю с концом секции *В*, и оба конца соединены с пластиной *3*. Конец секции *Б* скручен в петлю с концом секции *В*, которая соединена с пластиной *2*. Конец секции *Б* присоединен к пластине *4* вместо пластины *3*. При проверке якоря щупами стрелка милливольтметра, подключенного к пластинам *2—3*, отклонится в обратную сторону, а между пластинами *1—2* и *3—4* будет двойное напряжение.

Во всех рассмотренных случаях необходимо распаять соединения концов обмотки с коллектором, исправить неправильные соединения и снова запаять коллектор.

В процессе ремонта приходится поднимать стороны катушек из пазов. У машин, длительное время находившихся в эксплуатации, стороны катушек настолько плотно прилегают к стенкам пазов, что на пазовых гильзах остаются следы листового строения зубцов. Это объясняется тем, что при работе машины вращающий момент создается от взаимодействия между проводами в пазу и зубцами. Поэтому поднимать стороны катушек из пазов нужно осторожно, чтобы не порезать изоляцию катушек. Если катушки туго сидят в пазах, якорь перед размоткой нагревают в печи до 85—90°С. Катушки поднимают из пазов при помощи клина из твердого дерева со скругленным концом, который забивают сначала между верхней и нижней сторонами катушек в пазу, а затем при подъеме нижнего слоя — между дном паза и нижней стороной катушки.

§ 102. РЕМОНТ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Полюсные катушки разделяются на катушки, намотанные из круглого провода, и шинные. Эти катушки применяют в машинах постоянного тока и синхронных машинах. Катушки машин постоянного тока неподвижны. Это упрощает условия их работы и делает более надежными в эксплуатации. Вращающиеся катушки синхронных машин подвергаются действию центробежных сил, в несколько раз превосходящих массу катушек. Поэтому многослойные катушки синхронных машин должны быть особенно тщательно исполнены. Для них используют провод с усиленной изоляцией, а при намотке прокладывают между слоями полоски электрокартона. Значительно надежнее катушки синхронных машин, намотанные на ребро из медных шин. Но и они при большой длине полюса подвержены выпучиванию витков на боковых его сторонах, поэтому между ними ставят распорки.

Основными неисправностями полюсных катушек являются соединения катушки с корпусом, обрывы и междувитковые замыкания.

Особенность полюсных катушек заключается в том, что по ним протекает постоянный ток. Поэтому в короткозамкнутых витках не наводятся э. д. с. и не протекают токи короткого замыкания. Катушки с замкнутыми витками не только не нагреваются сильно, но бывают даже

холоднее других, так как при меньшем числе витков, по которым протекает ток, в них меньше потери энергии.

Кроме того, особенностью полюсных катушек являются большие размеры их сечения, во много раз превышающие сечения катушек, лежащих в пазах. Это учитывают при перемотке. Если, например, катушку наматывать со слишком слабым натяжением провода, то она значительно увеличится в размерах и ухудшится охлаждение внутренних витков.

Катушку, соединенную с корпусом находят следующим образом. Отключают катушки от якоря и пропускают через них постоянный ток. К катушкам параллельного возбуждения можно подвести номинальное напряжение машин, к катушкам последовательного возбуждения— пониженное напряжение. Один провод от вольтметра присоединяют к корпусу, а другим поочередно касаются соединительных проводов или выводных пластин катушек. Если соединения имеют ленточную изоляцию, то пользуются острыми щупами, прокалывающими ее. Наименьшие показания вольтметра будут с обеих сторон от катушки, соединенной с корпусом. Для проверки катушек последовательного возбуждения пользуются милливольтметром, а в цепь питания вводят регулировочный реостат. Если катушка состоит из нескольких секций, то, обнаружив поврежденную катушку, повторяют испытание путем присоединения вольтметра к соединениям между секциями и определяют, какая из секций соединена с корпусом.

Обрывы бывают только в катушках, намотанных из тонкого провода. Признаком обрыва обмотки возбуждения машин постоянного тока является отсутствие напряжения на зажимах генератора. Обрыв узнают по показаниям вольтметра, присоединяемого поочередно к выводам каждой катушки при питании их постоянным током. На исправных катушках стрелка вольтметра стоит на нуле, а при соединении с оборванной катушкой вольтметр показывает полное напряжение, так как через него замыкается токовая цепь. Обрыв можно обнаружить и при помощи мегомметра или контрольной лампы, проверяя соединения между выводами каждой катушки при отключении их от источника питания.

Междувитковые замыкания чаще всего наблюдаются в переходах из слоя в слой, местах крепления выводов и углах полюсов. Замыкание небольшого числа витков катушки возбуждения не сказывается на работе машины. Особенно нечувствительны к замыканиям витков машины с уравнительными соединениями в обмотке якоря. При значительном числе замкнутых витков и отсутствии уравнительных соединений в обмотке якоря машина начинает искрить на коллекторе, у генератора снижается напряжение, а у двигателя возрастает скорость вращения. Катушку полюса с замкнутыми витками узнают на ощупь по меньшему нагреву. Более точно междувитковые замыкания можно определить, надев катушку на сердечник испытательного трансформатора, первичная обмотка которого питается переменным током. Тогда в замкнутых витках полюсной катушки потекут сильные токи короткого замыкания, катушка начнет быстро нагреваться и задымит.

Для определения катушек с замкнутыми витками можно, не снимая катушек с полюсов, питать цепь возбуждения переменным током. У катушки с замкнутыми витками будет пониженное напряжение и усиленный нагрев. Напряжение подбирают таким, чтобы сила тока в катушках не превосходила номинальный ток возбуждения при работе машины. При таком испытании на якоре образуется высокое напряжение, поэтому нужно соблюдать меры предосторожности против поражения током. Катушки, намотанные на металлический каркас, плохо поддаются испытаниям переменным током.

Обнаружив дефектную катушку, устраняют повреждение и снова собирают катушки на полюса. После ремонта проверяют правильность чередования полярности полюсов посредством магнитной стрелки при питании катушек постоянным током. В разобранной машине стрелкой обводят внутреннюю поверхность полюсов, а в собранной машине стрелку подносят к головкам полюсных болтов. Если дополнительные полюса имеют неправильную полярность, то они не способствуют уменьшению искрения на коллекторе, а наоборот, вызывают усиленное искрение при работе машины под нагрузкой. Неправильная полярность главных полюсов также является причиной неисправности машины. Генератор при вращении якоря не самовозбудится, в двигателе якорь будет вращаться в другую сторону. При проверке полярности главных и дополнительных полюсов следует руководствоваться схемами, показанными на рис. 198.

Контрольные вопросы

1. Какие виды ремонтов обмоток вы знаете?
2. В чем заключается текущий и капитальный ремонты обмоток?
3. Почему упростился ремонт обмоток после внедрения единых серий?
4. В чем заключается подготовка к ремонту обмоток?
5. Какие неисправности всыпных обмоток встречаются при ремонте?
6. Как извлекают из пазов жесткую катушку двухслойной обмотки?
7. Опишите процесс ремонта стержневой обмотки ротора.
8. Как обнаруживают соединение с корпусом обмотки якоря?
9. Какие неисправности соединений обмотки якоря с коллектором вы знаете?
10. Как обнаружить замыкание витков в полюсной катушке?

ЛИТЕРАТУРА

Бабенко Д. А., Тепленко С. И., Чибишев Л. Д. В помощь электрику-обмотчику асинхронных двигателей. М., «Энергия», 1965.

Кокорев А. С. Справочник молодого обмотчика электрических машин. М., «Высшая школа», 1975.

Обмоточные данные асинхронных двигателей. Под редакцией П. И. Цибулевского, М., «Энергия», 1966.

Рубо Л. Г. Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт. М., Госэнергоиздат, 1961.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Николай Владимирович Виноградов

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ИБ № 486

Редактор М. В. Кобринская. Художник В. М. Лукьянов. Художественный редактор Т. В. Панина. Технический редактор Е. И. Герасимова. Корректор М. М. Малиновская.

Т—18499. Сдано в набор 20/V-76 г. Подп. к печати 27/X-76 г. Формат 60×90[1]/16. Бум. тип. № 1 Объем 19,5 печ. л. Усл. п. л. 19,5. Уч.-изд. л. 19,75. Изд. № Эl—265. Тираж 80 000 экз.
Цена 58 коп.
План выпуска литературы издательства
«Высшая школа» (профтехобразование) на 1977 г. Позиция № 35
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97. Заказ № 489.